

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ

(повна назва інституту/факультету)

КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ  
АППАРАТУРИ

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК:612.858.1;  
004.522;  
004.357

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри КЕОА

  
(підпис)

О.М.Лисенко  
(ініціали, прізвище)

“18” грудня 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 172 – Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

на тему: Розумні окуляри з використанням кісткової провідності звуків

Виконав: студент 6 курсу, групи ДК-91мп

(шифр групи)

Максимович Богдан Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Науковий керівник зав. кафедри КЕОА, д.т.н., проф. Лисенко О.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)



Консультант

(назва розділу)

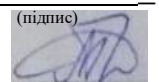
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доц.каф. МЕ, к.т.н., доц. Татарчук Д.Д.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)



Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент

  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет \_\_\_\_\_ електроніки \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ конструювання електронно-обчислювальної апаратури \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) \_\_\_\_\_ 172 – Телекомунікації та радіотехніка \_\_\_\_\_  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

 \_\_\_\_\_ Лисенко О.М. \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«23» \_\_\_\_\_ жовтня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію**  
студенту \_\_\_\_\_ Максимовичу Богдану Олександровичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Розумні окуляри з використанням кісткової провідності звуків

науковий керівник дисертації Лисенко Олександр Миколайович, д.т.н., проф.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «5» листопада 2020 р. № 3241-с

2. Строк подання студентом дисертації \_\_\_\_\_ 15.12.2020р.

3. Об'єкт дослідження процес шумозаглушення в системі розумні окуляри

4. Предмет дослідження є методи шумоприглушення вхідних звуків, структурно-функціональна організація системи, її імітаційна модель та технічні рішення її складових.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналіз існуючих підходів до створення носимої системи розумних окулярів. 2. Розробка структурно-функціональної організації системи та імітаційної моделі акустико-електронного тракту. 3. Обґрунтування вибору методу шумозаглушення. 4. Технічні рішення реалізації складових системи розумних окулярів. 5. Розроблення стартап-проекту

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Презентація у форматі PowerPoint

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 публікація

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
-	-	-	-

9. Дата видачі завдання 23.10.2019р.

Календарний план

№ з/ п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних джерел за темою дисертації	23.10.19—15.02.20	Вик.
2	Розроблення структурно-функціональної організації системи	16.02.20—29.03.20	Вик.
3	Аналіз методів шумозаглушення та обґрунтування вибору базового для дослідження	30.03.20 – 30.04.20	Вик.
4	Розроблення імітаційної моделі акустико-електронного тракту та його моделювання	01.05.20—31.08.20	Вик.
5	Технічні рішення реалізації системи	1.09.20—15.10.20	Вик.
6	Розробка стартап-проєкту	16.10.20—18.11.20	Вик.
7	Оформлення дисертації	19.11.20—10.12.20	Вик.

Студент

  
(підпис)

Максимович Б.О  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

  
(підпис)

Лисенко О. М.  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 87 сторінок, в яких міститься 42 рисунки, 24 таблиці, використано 29 джерел.

**Актуальність.** Наразі серед широкого кола користувачів відбувається стрімке поширення використання розумної носимої електроніки - інтелектуальних електронних пристроїв, які значно спрощують сприйняття інформації людиною в сучасному житті. Цьому сприяють швидке виведення та доступ до потрібної інформації з можливістю голосового чи тактильного керування. Наслідком цього є адаптація людини у великому потоці інформації. Такі розумні пристрої можуть вивести інформацію останньої події, наприклад, у вигляді повідомлення на екран чи відтворити його і для цього непотрібно діставати смартфон чи йти до комп'ютера. Серед найбільш популярних рішень носимої електроніки наразі є розумні годинники та фітнес-браслети, а також досить недешеві розумні окуляри. На жаль, при наявності у останніх широкого функціоналу, включаючи голосовий асистент, їх використання дещо утруднене в складних акустичних умовах оточуючого середовища (наприклад, на вулиці, в громадському транспорті, супермаркетах тощо) із-за впливу шуму, що потребує вирішення завдання по зменшенню його впливу зі збереженням найбільш затребуваних користувачами функцій системи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження проводилися відповідно до тематики наукових досліджень кафедри КЕОА ФЕЛ та пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України «Інформаційні та комунікаційні технології».

**Метою** дисертаційної роботи є зниження впливу зовнішнього шуму на відтворювану звукову інформацію системи розумні окуляри шляхом застосування методів шумозаглушення, розробки структурно-функціональної організації системи, імітаційної моделі акустико-електронного тракту та технічних рішень реалізації системи із забезпеченням найбільш затребуваних користувачами її функцій.

Для досягнення мети в роботі вирішувались наступні **задачі**:

- Проведено аналіз існуючих підходів створення системи розумні окуляри;
- Розроблено структурно-функціональну організацію системи та імітаційну модель її акустико-електронного тракту;
- Проведено аналіз методів шумозаглушення та обґрунтовано вибір базового для реалізації в системі;
- Виконано моделювання акустико-електронного тракту системи;
- Розроблено технічні рішення реалізації структурних складових системи;
- Виконано розробку стартап-проекту

**Об'єктом** дослідження є процес шумозаглушення в системі розумні окуляри.

**Предметом** є методи шумозаглушення вхідних звуків, структурно-функціональна організація системи, імітаційна модель та технічні рішення її складових.

**Методами** дослідження є методи адаптивних фільтрацій звуку LMS фільтром та із застосуванням нейронної мережі, імітаційного моделювання.

**Наукова новизна** полягає в наступному:

- Запропоновано нову структурно-функціональну організацію системи розумних окулярів з трактом кісткового звукопроведення шляхом додаткового введення до її складу процедури адаптивного шумозаглушення на основі багатоканального методу, що дозволило зменшити вплив шуму оточуючого середовища при використанні системи в складних акустичних умовах;
- Розроблено Simulink-модель акустико-електронного тракту системи, що дозволило провести моделювання підсистеми активного адаптивного шумозаглушення акустико-електронного тракту та підтвердити ефективність запропонованого рішення.

**Практичне значення** полягає в обґрунтуванні вибору технічних рішень реалізації системи, що є засадами для подальшого розроблення КД на систему.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційних досліджень апробовано на Міжнародній науково-технічній XIII конференції молодих вчених «Електроніка-2020», м. Київ, 2020р.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 1 друковану працю в збірнику матеріалів конференції (див. Додаток А):

Максимович Богдан. Розумні окуляри на основі SoC QCC5124 // «Електронна та акустична інженерія. Том №3», м. Київ, 2020р.- С.30-33.

**Ключові слова:** розумні окуляри, кісткова провідність, BLE, Bluetooth, адаптивна фільтрація.

## ABSTRACT

The master's dissertation consists of 87 pages, which contains 42 figures, 24 tables, used 29 sources.

**The relevant.** Currently, a wide range of users is rapidly expanding the use of intelligent wearable electronics - intelligent electronic devices that greatly simplify the perception of information by humans in modern life. This is facilitated by fast output and access to the necessary information with the possibility of voice or tactile control. The consequence of this is the adaptation of man in a large flow of information. Such smart devices can display information about the latest event, for example, in the form of a message on the screen or play it, without the need to get a smartphone or go to a computer. Among the most popular wearable electronics solutions today are smart watches and fitness bracelets, as well as fairly expensive smart glasses. Unfortunately, with the latter having a wide range of functionalities, including a voice assistant, their use is somewhat difficult in difficult acoustic environments (eg, on the street, in public transport, supermarkets, etc.) due to the effects of noise, which requires solving the problem of reducing its impact while maintaining the most popular functions of the system.

**Relationship of work with scientific programs, plans, themes.** The dissertation research was conducted in accordance with the topics of scientific research of the department of KEOA FEL and the priority direction of development of sciences and technology of Ukraine "Information and communication technologies.

**The purpose** of the dissertation is to reduce the influence of external noise on the reproduced sound information of the smart glasses system by applying noise reduction methods, development of structural and functional organization of the system, simulation model of acoustic-electronic path and technical solutions of the system.

To achieve this goal, the following **tasks** were solved:

- An analysis of existing approaches to creating a system of smart glasses;

- The structural and functional organization of the system and the simulation model of its acoustic-electronic path are developed;
- The analysis of noise reduction methods is carried out and the choice of basic for realization in system is substantiated;
- Simulation of acoustic-electronic path of the system is performed;
- Developed technical solutions for the implementation of structural components of the system;
- Development of a startup project has been completed

**The object** of research is the process of noise reduction in the system of smart glasses.

**The subject** is the methods of noise reduction of input sounds, structural and functional organization of the system, simulation model and technical solutions of its components.

**Research methods** are a method of adaptive sound filtering LMS filter and using a neural network, simulation.

The **scientific novelty** is as follows:

- A new structural and functional organization of the system of smart glasses with the path of bone conduction by additional introduction of the procedure of adaptive noise reduction based on the multichannel method, which reduced the impact of ambient noise when using the system in complex acoustic conditions;
- A Simulink model of the acoustic-electronic path of the system was developed, which allowed to carry out modeling of the subsystem of active adaptive noise attenuation of the acoustic-electronic path and to confirm the effectiveness of the proposed solution.

**The practical significance** lies in the justification of the choice of technical solutions for the implementation of the system, which are the basis for further development of CD on the system.



**Approbations of the dissertation results** research at the XIII International Scientific and Technical Conference of Young Scientists "Electronics 2020", Kyiv, April, 2020.

**Publications.** Based on the materials of the dissertation, 1 printed work was published in the collection of conference materials (see Appendix?):

Maksymovych Bohdan. Smart glasses based on SoC QCC5124 // "Electronic and acoustic engineering. Volume №3 », Kyiv, 2020 -P.P.30-33

**Key words.** Smart glasses, bone conduction, BLE, Bluetooth, adaptive filter

## ЗМІСТ

<b>Перелік умовних позначень.....</b>	<b>3</b>
<b>Вступ.....</b>	<b>4</b>
<b>Розділ 1. Аналіз існуючих підходів до створення носимої системи розумних окулярів.....</b>	<b>7</b>
1.1 Огляд сучасного стану систем розумні окуляри.....	7
1.2 Аналіз основних функцій та технічних складових системи розумних окулярів.....	9
1.3 Аналіз відомих технічних рішень побудови системи за результатами проведеного патентного пошуку.....	12
1.4 Обґрунтування вибору функціоналу системи та постановка задачі дослідження.....	16
<b>Розділ 2. Розробка структурно-функціональної організації системи та імітаційної моделі акустико-електронного тракту.....</b>	<b>19</b>
2.1 Розробка структурно-функціональної організації системи.....	19
2.2 Аналіз методів шумозаглушення та обґрунтування вибору базового для застосування.....	21
2.2.1 Мультиканальний адаптивний метод.....	22
2.2.2 Метод на основі нейронної мережі.....	25
2.2.3 Метод багатоканального активного шумозаглушення із застосуванням мікрофонного масиву.....	28
2.3 Розроблення імітаційної Simulink-моделі акустико-електронного тракту системи.....	32
2.4 Моделювання тракту на основі багатоканального активного методу шумозаглушення.....	35

<b>Розділ 3 Технічні рішення реалізації складових системи розумних окулярів.....</b>	<b>39</b>
3.1 Обґрунтування вибору обчислювального компоненту системи.....	39
3.2 Тракт відтворення кісткової провідності звуків.....	43
3.3. Технології підсистеми безпроводового зв'язку.....	45
3.4 Вибір та обґрунтування технології сенсорного інтерфейсу приладу.....	46
3.4.1 Використання компаратора та таймера.....	48
3.4.2 Використання блоку ємнісних датчиків мікроконтролера.....	49
3.4.3 Використання блоку зміни часу заряду.....	50
3.5. Розробка рекомендацій щодо використання отриманих результатів.....	50
<b>Розділ 4. Створення стартап-проекту.....</b>	<b>52</b>
4.1 Опис ідеї проекту.....	52
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	54
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	55
4.4 Розроблення ринкової стратегії.....	61
4.5 Розроблення маркетингової програми.....	63
4.6 Можливі області застосування та очікуваний ефект.....	66
<b>Висновки.....</b>	<b>67</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>70</b>
<b>Додаток А Копія статті у виданні «Електронна та Акустична Інженерія».....</b>	<b>75</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ВЧ – високочастотний

НЧ – низькочастотний

BLE – Bluetooth Low Energy

HMD - Head-mounted display

LMS – Least mean squares

SoC – System-on-Chip

STFT – Short-time Fourier Transform

VAD – Voice activity detector

WDT – Watchdog Timer

## ВСТУП

**Актуальність.** Відомо, що наразі серед широкого кола користувачів відбувається стрімке поширення використання розумної носимої електроніки - інтелектуальних електронних пристроїв, які значно спрощують сприйняття інформації людиною в сучасному житті. Цьому сприяють швидке виведення та доступ до потрібної інформації з можливістю голосового чи тактильного керування. Наслідком цього є адаптація людини в великому потоці інформації. Такі розумні пристрої можуть вивести інформацію останньої події, наприклад, у вигляді повідомлення на екран чи відтворити його і для цього непотрібно діставати смартфон чи йти до комп'ютера. Найбільш популярними продуктами носимої електроніки на сьогодні є розумні годинники та фітнес-браслети, натомість розумні окуляри ще не завоювали популярність серед користувачів, однак впевнено рухаються до першої позиції.

Розумні окуляри – носимий пристрій, який аналізує та відтворює інформацію відповідно запитам користувача. Лінзи для таких окулярів можуть бути виконані як з врахуванням діоптрій, так і без. Технічні можливості розвинутих систем дозволяють інтегрувати функції, які близькі смартфонам, тому варіативність комплектації обмежується лише фантазією розробника.

Проектуючи таку систему необхідно пам'ятати галузь використання. Розумні окуляри масово застосовуються на виробництві для допомоги персоналу, підвищенню безпеки та якості. Для інших - це аксесуар для щоденного використання, а отже, сучасні закони диктують умови комфортності та зовнішнього вигляду. Враховуючи це, розробники зустрічаються з проблемою недостатнього технічного прогресу для розміщення потужної системи в такому маленькому корпусі.

Незважаючи на велику кількість створених розумних окулярів, їх всіх об'єднує одна основна проблема, яка полягає у знаходженні оптимального відношення їх функціоналу, технічних і масо-габаритних характеристик. Окуляри - це такий пристрій, який має бути максимально легким, зручним та привабливим на вигляд, не втрачаючи при цьому в технічному наповненні. Тому поки цей напрям носимої електроніки розвивається, необхідно створювати зацікавленість аудиторії шляхом побудови різноманітних систем з

різним технічним наповненням. Виробники розуміють, що ці розумні окуляри мають бути максимально компактними, але якщо не наповнити їх привабливим, місцями надлишковим, функціоналом, вони не будуть користуватись попитом. Однак, новітні технічні рішення, які дозволяють вирішити таку проблему, коштують доволі дорого і, як наслідок, це впливає на кінцеву ціну продукту.

Потужні системи з багатьма функціями мають низьку ергономічність, оскільки потребують більших габаритних розмірів для розміщення всіх функціональних блоків, високе енергоспоживання, що не дозволить використовувати весь їх весь день без підзарядки при активному користуванні. Крім того, на жаль, при наявності у останніх широкого функціоналу, включаючи голосовий асистент, їх використання дещо утруднене в складних акустичних умовах оточуючого середовища (наприклад, на вулиці, в громадському транспорті, супермаркетах тощо) із-за впливу шуму, що потребує вирішення завдання по зменшенню його впливу зі збереженням найбільш затребуваних користувачами функцій системи, що власне і визначило **актуальність** цього дослідження.

**Метою** дисертаційної роботи є зниження впливу зовнішнього шуму на відтворювану звукову інформацію системи розумні окуляри шляхом застосування методів шумозаглушення, розробки структурно-функціональної організації системи, імітаційної моделі акустико-електронного тракту та технічних рішень реалізації системи із забезпеченням найбільш затребуваних користувачами її функцій.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження проводилися відповідно до тематики наукових досліджень кафедри КЕОА ФЕЛ та пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України «Інформаційні та комунікаційні технології».

Для досягнення мети в роботі вирішувались наступні **задачі**:

- Проведено аналіз існуючих підходів створення системи розумні окуляри;
- Розроблено структурно-функціональну організацію системи та імітаційну модель її акустико-електронного тракту;
- Проведено аналіз методів шумозаглушення та обґрунтовано вибір базового для реалізації в системі;
- Виконано моделювання акустико-електронного тракту системи;

- Виконано розробку стартап-проекту

**Об'єктом** дослідження є процес шумозаглушення в системі розумні окуляри.

**Предметом** є методи шумозаглушення вхідних звуків, структурно-функціональна організація системи, імітаційна модель та технічні рішення її складових.

**Методами** дослідження є методи адаптивних фільтрацій звуку LMS фільтром та із застосуванням нейронної мережі, імітаційного моделювання.

**Наукова новизна** полягає в наступному:

- Запропоновано нову структурно-функціональну організацію системи розумних окулярів з трактом кісткового звукопроведення шляхом додаткового введення до її складу процедури адаптивного шумозаглушення на основі багатоканального методу, що дозволило зменшити вплив шуму оточуючого середовища при використанні системи в складних акустичних умовах;
- Розроблено Simulink-модель акустико-електронного тракту системи, що дозволило провести моделювання підсистеми активного адаптивного шумозаглушення акустико-електронного тракту та підтвердити ефективність запропонованого рішення.

**Практичне значення** полягає в обґрунтуванні вибору технічних рішень реалізації системи, що є засадами для подальшого розроблення КД на систему.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційних досліджень апробовано на Міжнародній науково-технічній XIII конференції молодих вчених «Електроніка-2020», м. Київ, 2020р.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 1 друковану працю в збірнику матеріалів конференції (див. Додаток А):

Максимович Богдан. Розумні окуляри на основі SoC QCC5124 // «Електронна та акустична інженерія. Том №3», м. Київ, 2020р.- С.30-33.

**Ключові слова:** розумні окуляри, кісткова провідність, BLE, Bluetooth, адаптивна фільтрація.

# Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ НОСИМОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНИХ ОКУЛЯРІВ

## 1.1 Огляд сучасного стану систем розумні окуляри

Google Glass [1] – розумні окуляри всесвітньо відомої компанії Google, не зважаючи на преміальний дизайн не можна назвати компактними, однак, це не завадило їм мати своїх прихильників. У пристрої використовується прозорий дисплей, який кріпиться на голову - HMD і знаходиться трохи вище правого ока, з камерою, здатної записувати відео високої якості (рис.1.1, 1.2).



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд Google Glass

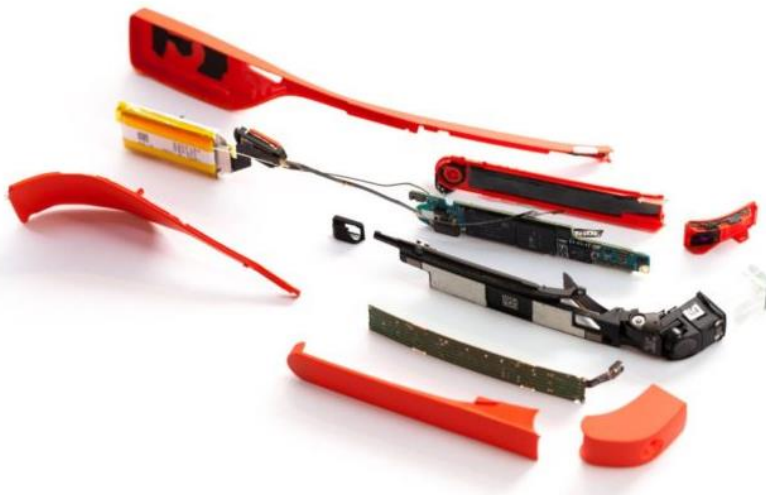


Рисунок 1.2 – Google Glass в розібраному стані

Взаємодія Google Glass з користувачем здійснюється через голосові команди (базовою є команда «Ok, Glass», після якої повинно йти прохання



виконати будь-яку функцію, крім того, через гарнітуру можна диктувати тексти), жести, які розпізнаються сенсорною панеллю, яка розташована на дужці за дисплеєм і систему передачі звуку з використанням кісткової провідності.

Google Glass – система, яка задала тренд і попит розумних окулярів. З моменту випуску першої версії, окуляри мали багато виправлень та поліпшень. Окуляри мають багато технічних переваг, до недоліків можна віднести вартість цих технічних рішень, яка є причиною популярності меншої за очікування.

Компанія Huawei нещодавно презентувала нові окуляри власного виробництва Huawei x Gentle Monster [2], які майже не відрізняються від звичайних окулярів. Система створена як аксесуар разом з корейським виробником окулярів Gentle Monster, не має проєкцій на лінзу чи камер, наявні лише звукова передача інформації та режим гарнітури (рис.1.3). Переваги такого рішення полягає в мінімалізмі функціоналу, що не робить їх гіршими, а навпаки, окуляри створені для певної аудиторії. Недоліки – використання динаміку в якості звуковідтворюючої частини, в місцях з підвищеним рівнем шуму у користувача може мати місце недостатня чутність сповіщень системи.

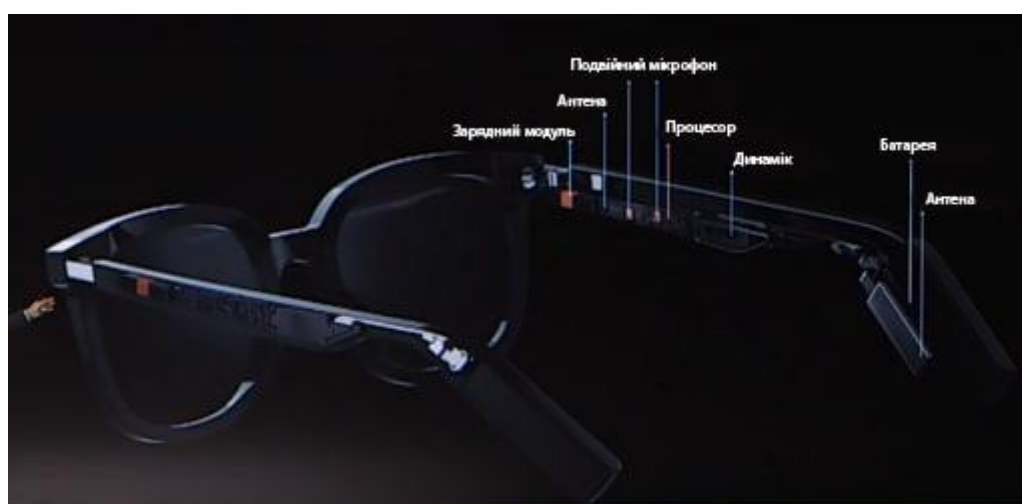


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд Huawei x Gentle Monster

Окуляри Focals [3] компанії North є сучасним найбільш наближеним до ідеального балансу варіантом реалізації (рис.1.4, 1.5). Його особливою відмінністю є наявність проєкції зображення, при цьому було збережено

компактну конструкцію окулярів та їх стильний зовнішній вигляд. Система має вагоме технічне наповнення, за допомогою проєкції можна набагато ефективніше відслідковувати корисну інформацію про навігацію, сповіщення тощо. Керування здійснюється за допомогою джойстика у формі персня. Переваги системи – більш компактне представлення за меншу ціну у порівнянні з Google Glass. Недоліки – система керування окулярами, хоча деякі респонденти відмічають, що це зручно, але це індивідуальне питання.



Рисунок 1.4 – Проекційний дисплей Focals by North



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд Focals by North

## **1.2 Аналіз основних функцій та технічних складових системи розумних окулярів**

Аналізуючи представлені продукти в підрозд. 1.1 можна виділити основні технологічні рішення які притаманні розумним окулярам:

- Вбудована система звукопроведення;

- Вбудований голосовий асистент;
- Режим гарнітури для голосових викликів;
- Елемент керування системою;
- Проекційний дисплей;
- Камера.

Розумні окуляри підтримують ряд комп'ютерних можливостей. Це мобільна платформа, вона має слідувати деякому баченню взаємодії зі смартфоном та в поєднанні з ним, формувати злагоджену систему і відчуття у користувача, що окуляри - це корисне і зручне доповнення до смартфона.

Саме тому в окуляри почали вбудовувати тракти звукопроведення. Платформа знаходиться на голові і це цілком логічне рішення, оскільки воно позбавляє користувача потреби у використанні навушників, що сприяє підвищенню комфортного використання у користувача.

Система звукопроведення схожа з базовим принципом побудови навушників: динамік та один чи декілька мікрофонів. Така проста система має різні можливості виконання саме на базі окулярів. Від використання звичайного динаміка до розділення динаміків на частотні діапазони та, як наслідок, використання НЧ та ВЧ динаміків.

В розумних окулярах знайшла свою частину використання технологія кісткової провідності, яка дозволяє відправляти звуки безпосередньо до внутрішнього вуха. Вона активно застосовується спортсменами, дайверами, військовими, водіями та офісними працівниками.

Перевага такого методу – вільне вухо, що не можна сказати про використання навушників. А, отже, підвищений рівень безпеки користувача в тих чи інших ситуаціях, де треба чути навколишні звуки. Також у випадку застосування в окулярах кісткова провідність забезпечить покращену чутність в гучних місцях. Натомість окуляри, в які вбудовано звичайний динамік (рис.1.3), їх можна взагалі не почути, або необхідно збільшувати рівень гучності, тоді всі оточуючі будуть теж чути інформацію з окулярів.

Після інтеграції в окуляри системи з динаміком та мікрофоном можна додати ще більше супроводжуючих функцій. Режим гарнітури для голосових викликів та підтримку розумних асистентів Google Assistant, Amazon Alexa тощо.

Підтримка асистенту ще більше інтегрує розумні окуляри в інфраструктуру смартфона. В залежності від програмного наповнення стає все менше і менше причин дістати смартфон, ніж запитати потрібну інформацію у окулярів, яку вони нададуть згідно своїх алгоритмів.

Голосовий асистент набуває ще більшого функціоналу, якщо в окуляри вбудована система проєкції зображення на лінзу. В такому випадку необхідність дістати смартфон для отримання інформації ще менша. Такі окуляри можуть виводити на лінзу зображення сповіщень, повідомлень, навігацію тощо. В залежності від програмного наповнення асистент може не тільки озвучувати інформацію, а й супроводжувати її картинкою.

Деякі виробники намагаються інтегрувати модулі камер в окуляри. В першу чергу, не дивлячись на можливу корисність такого модуля, це впливає на автономність, на потребу встановлення процесору, що матиме більшу обчислювальну здатність та зміну ергономіки конструкції в гіршу сторону. Для промислових розумних окулярів існують свої стандарти і тому використання камери в окулярах можливе, якщо не необхідне, але в побутових рішеннях ситуація дещо інша. Наразі технології не дають змогу вбудувати в окуляри модуль камери, який би мав високу роздільну здатність в поєднанні з малим корпусним виконанням. Такі рішення є, але це одразу підвищує вартість продукту, або використовувати модулі з низькою роздільною здатністю, тоді постає питання доцільності інтегрування такого рішення з точки зору корисності для користувача.

На жаль, наразі повна інтеграція всіх необхідних функцій, до яких користувач звик у смартфоні, неможлива. Рівень технологічного розвитку не дає створити дуже маленьку і дуже потужну систему, а рішення, які наближені до такого, вважаються вузькоспеціалізованими демо-зразками, щоб користувач

побачив, що компанія може таке виготовити, але кінцева ціна продукту в такому випадку буде недоступна звичайному користувачеві. Тому наразі на ринку представлено багато окулярів, які мають однаковий функціонал, з різним дизайнерським виконанням або різним функціоналом, але відмінність буде полягати в одній-двох функціях чи способах їх реалізації.

Дуже гарно це демонструється на системах керування окулярами. Одні рішення лишають фізичні натискачі, хоча для носимої електроніки це важко назвати зручним рішенням, інші роблять дужку окулярів сенсорною, яка в залежності від комбінацій натиснення та проведення виконує ті чи інші команди. Focals в свою чергу взагалі не має елементів керування на окулярах і це винесено на спарений перстень, що теж є спірним рішенням у зручності користування.

### **1.3 Аналіз відомих технічних рішень побудови системи за результатами проведеного патентного пошуку**

Для пошуку патентів використовувалось словосполучення, яке складається з назви теми або розділені словосполучення по типу «розумні окуляри», «розумні окуляри з кістковою провідністю», «Smart glasses», «Smart glasses with bone conduction», «Smart glass bone», а також пошук за назвами компаній виробників наведених вище окулярів: «Google», «Huawei», «North».

IPC клас: G02C 11/06 | H04R 27/02

- ДП «Укрпатент»:

За пошуковим запитом «розумні окуляри», «окуляри», «кісткова провідність» не знайдено жодного запису, що відповідає концепції винаходу.

- Європейське патентне відомство:

1) WO2017092166 «Smart glasses with bone conduction function»[4]

Патент китайської компанії «E-TECHNO INFORMATION TECH CO LTD», передбачає створення розумних окулярів, які мають технологію кісткової провідності та можуть працювати в режимі плеєра музики. Патент описує ці функції як переваги даного винаходу. Виходячи з рис.1.6, можна стверджувати,

що ергономічна складова таких окулярів не є кращою за продукти описані в п.3 цього розділу, це спричинено двома каналами звукового тракту, що потребує додаткового місця для відповідного устаткування.

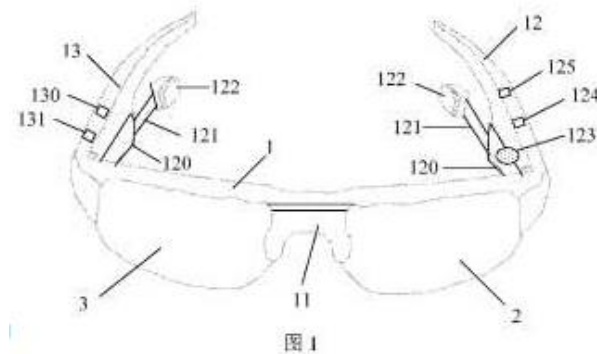


Рисунок 1.6 – Технічне рішення згідно патенту WO2017092166

2) CN204374550 «Bone conduction Bluetooth glasses»[5]

Ще один патент компанії «E-TECHNO INFORMATION TECH CO LTD», який описує корисну модель розумних окулярів. Їх особливість полягає в можливості регулювання заушної частини дужки по рейці 121 для кращого утримання на голові. В іншому - це аналогічна модель розумних окулярів з Bluetooth і кістковою провідністю звуку.

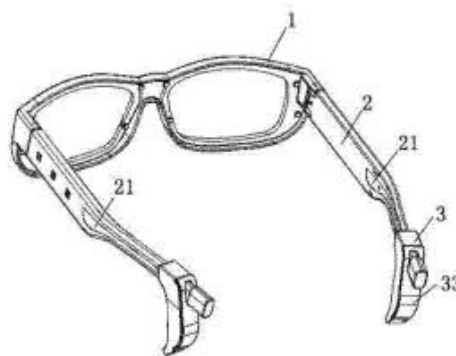


Рисунок 1.7 - Технічне рішення згідно патенту CN204374550

3) CN107071643 «Sound conduction method and devise based on bone sensing glasses and readable storage medium»[6]

Патент описує метод створення розумних окулярів в компактному виконанні (рис.1.8). Модель складається з модуля зв'язку, контролеру, що

отримує сигнал та надсилає його на перетворювач кісткового датчику, який в свою чергу керує вібродинаміком. З'єднання з телефоном забезпечується за допомогою Bluetooth та NFC.

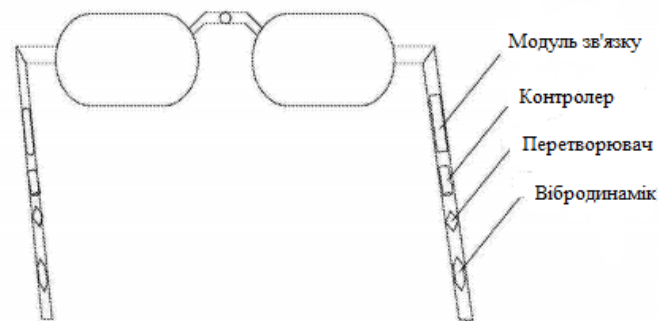


Рисунок 1.8 - Технічне рішення згідно патенту CN107071643

- Патентне відомство США:

- 1) Huawei LTD. US 20150295610 A1 «Glasses-type communications apparatus, system, and method»[7]

Патент (рис.1.9) описує окуляри які можуть мати одну чи більше камер, та один або два дисплеї для відображення. Модель розроблена для відслідковування та обробки інформації навколо користувача, та передбачає наявність двох камер заднього виду на кінцях дужок окулярів, один або два дисплеї для відображення, та процесорну частину яка оброблює всю надану інформацію.

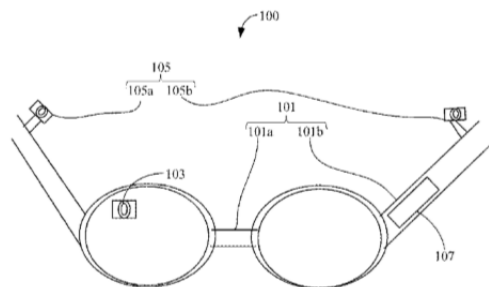


Рисунок 1.9 – Технічне рішення згідно патенту US 20150295610 A1

З недоліків можна виділити доволі вузьку галузь застосування такої системи. Навряд звичайному користувачу у повсякденному використанні знадобиться знати, що відбувається позаду нього. Скоріше це система яку можна

застосувати на виробництвах з метою підвищення безпеки або для структур, що займаються охороною.

2) Google LLC US 20160192048 A1 «Wearable computing device with indirect bone-conduction speaker» [8]

Патент (рис.1.10) на продукт компанії Google, представляє собою окуляри з вмонтованим екраном, кістковою провідністю звуку. Патент передбачає наявність хоча б одного екрану для виведення інформації, хоча б одного вібродинаміку для виведення звукової інформації.

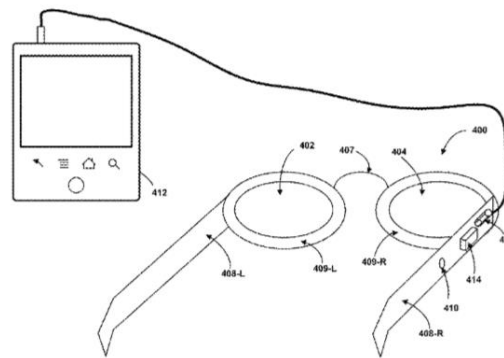


Рисунок 1.10 – Технічне рішення згідно патенту US 20160192048 A1

- Патентне відомство Німеччини:

За запитом “Smart glasses bone” знайдено один патент з номером WO002017092166A1 Smart glasses with bone conduction function [9].

Патент (рис.1.11) аналогічний патенту, що було знайдено в Європейському патентному відомстві та включає в себе конструкцію окулярів і метод передавання звуку.

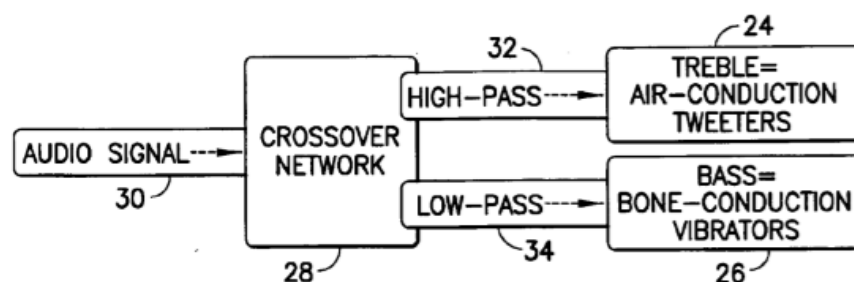


Рисунок 1.11 – Технічне рішення згідно патенту WO002017092166A1



В звуковому тракті застосовується кросовер – пристрій, що розділяє сигнал на діапазони частот. Для низькочастотної складової використано відбродинамік, для високочастотної – звичайний твітер. Наведена схема ще раз підтверджує опис, де сказано, що ці розумні окуляри орієнтовані на прослуховування музики.

#### **1.4 Обґрунтування вибору функціоналу системи та постановка задачі дослідження**

Виходячи з наведеної інформації цього розділу, можна сформулювати функціональну частину корисної моделі розумних окулярів, які будуть розглядатись в цій роботі.

Оскільки однією з складових мети є створення такої системи розумні окуляри, які по своїм масо-габаритним розмірам мають як можна краще відповідати звичайним окулярам, при цьому забезпечувати найбільш затребувані користувачами функції, які будуть інтегровані в розроблювану в подальшому структурно-функціональну організацію системи:

- 1) Звуковий тракт з використанням вібродинаміку.
- 2) Підтримка режиму гарнітури.
- 3) Підтримка голосового асистенту.
- 4) Система подавлення шуму вхідного сигналу.
- 5) Підтримка з'єднання за технологією Bluetooth.
- 6) Виконавча процесорна частина.

Система з таким набором параметрів не займатиме багато місця та буде енергетично ефективною за рахунок відмови від використання енерговитратних функцій. Отже, таку модель можна втілити в ергономічному корпусі, що не буде виділятися на фоні звичайних окулярів.

Другою частиною мети є зниження впливу зовнішнього шуму на відтворювану звукову інформацію в системі. Кісткова провідність забезпечує кращу чутність в умовах підвищеного рівня шуму, підвищує безпеку користувача завдяки відкритому зовнішньому вушному каналу. А реалізація

методів шумозаглушення дозволить відфільтрувати шуми оточуючого середовища у вхідному акустико-електронному тракті.

Що стосується процесорної частини, то більшість SoC для портативної електроніки вже мають в складі периферії АЦП, ЦАП, вільні порти вводу/виводу для підключення, а також можуть мати вбудований контролер заряду батареї. Останнє, наприклад, більш характерно для чіпів, спеціалізованих саме на носимих пристроях, щоб зменшити кількість одиниць використаної зовнішньої елементної бази для економії місця. При використанні багатофункціонального процесорного вузла залишається встановити лише підсилювачі, якщо виникне необхідність, а також під'єднати інші складові структури. Таким чином, при використанні спеціалізованих обчислювальних компонентів потенційно досягається скорочення ваго-габаритних розмірів із використанням однієї мікросхеми та, як наслідок, зменшується необхідна ємність батареї.

Компанії, які займаються виробництвом електроніки, в тому числі і носимої, зазвичай, самостійно розробляють обчислювач - процесор, який буде керувати окулярами та оброблювати необхідну інформацію. Використання SoC власної розробки для носимої електроніки позитивно впливає на енергоефективність портативного пристрою та його надійність внаслідок зменшення використання компонентів, а також скорочення ваго-габаритних розмірів. Зрештою, можна використати вже готові рішення. Вони також будуть мати все необхідне для інтеграції в технічне рішення такого типу, але їх проблема полягає в їх універсальності, що означає необхідність налаштування відповідно до вимог розробника.

## **Висновок до розд. 1**

Розумні окуляри – носимий пристрій, який має доповнити інфраструктуру носимої електроніки та взаємодії зі смартфоном. Наразі лідером є розумні годинники, але окуляри мають свої особливості, які при належному рівні виконання будуть займати свою частину ринку.

Проведене дослідження популярних розумних окулярів дало розуміння того, в якому напрямку рухаються компанії та як вони бачать цей продукт, що важливо при створенні власного продукту. Розглянуто основні функції, які притаманні більшості окулярів, їх позитивні сторони та недоліки. В подальшому результат такого дослідження вплине на конструктивні особливості, що описані в подальших розділах.

На глобальних патентних відомствах є схожі патенти на об'єкт дослідження. Патентний пошук доводить, що це технічне рішення відносно нове, тому дуже легко створити таку конфігурацію, яка буде не запатентована. Пошук по IPC класу не дасть результатів повної схожості прийнятих патентів до пропонованого, оскільки в розробці задіяно кілька різних технічних рішень.

Проведений аналіз ринку та патентних технічних рішень дало змогу чітко сформулювати функціонал системи, на основі якого в наступному розділі створено її структурно-функціональну організацію. В якості обчислювального блоку необхідно використати рішення, яке вміщує як можна більше компонентів, які необхідні для реалізації розроблюваного рішення. Такий підхід дозволить зменшити розміри друкованого вузлу та підвищити надійність системи і, як наслідок, мінімізації використаних окремих елементів на друкованому просторі.

Встановлено, що при наявності у відомих рішеннях системи розумні окуляри широкого функціоналу, включаючи голосовий асистент, їх використання дещо утруднене в складних акустичних умовах оточуючого середовища (наприклад, на вулиці, в громадському транспорті, супермаркетах тощо) із-за впливу шуму, що потребує вирішення завдання по зменшенню його впливу зі збереженням найбільш затребуваних користувачами функцій системи шляхом реалізації методів шумозаглушення.

## Розділ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ І АКУСТИКО-ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАКТУ

### 2.1 Розробка структурно-функціональної організації системи розумні окуляри

Виходячи з опису вже наявних технічних рішень за результатами проведеного патентного пошуку в розд. 1 із врахуванням проблематики створених систем, розроблено нову структурно-функціональну організацію системи розумні окуляри (рис. 2.1). До її складу входить:

- 1) 2 Мікрофони
- 2) Вібродинамік
- 3) Сенсорне керування
- 4) Виконавчий процесор
- 5) Зовнішня антена
- 6) Акумулятор

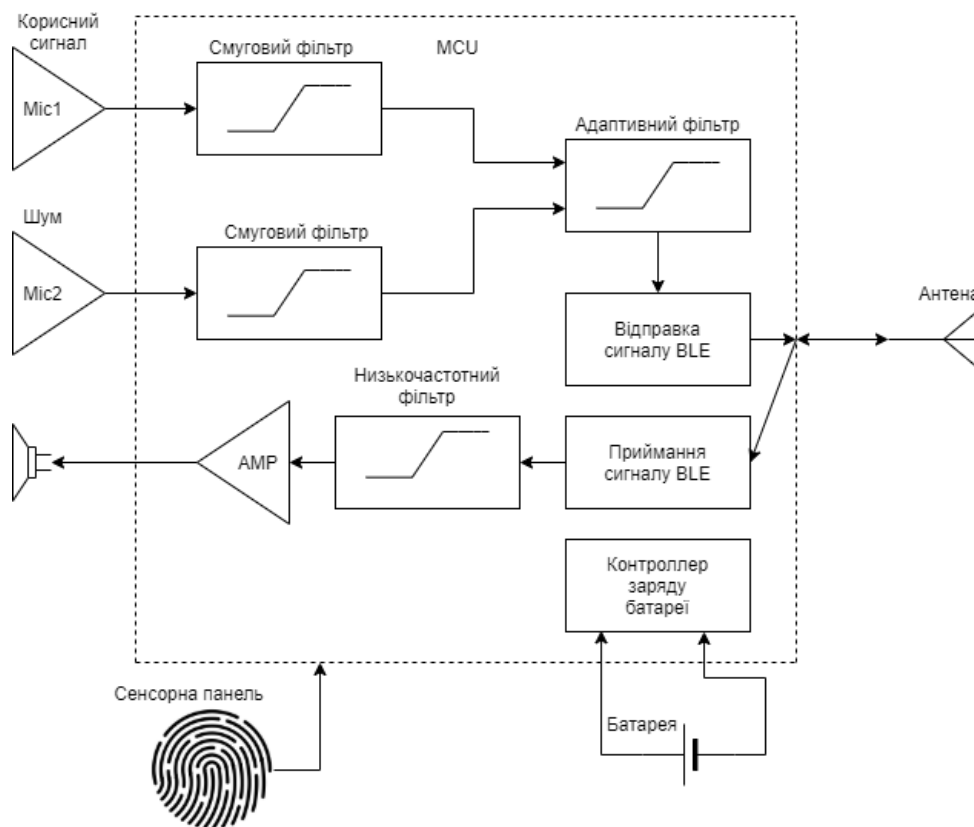


Рисунок 2.1 – Структурно-функціональна організація системи

В системі використовується 2 мікрофони для її комунікації з користувачем. Така конфігурація обрана, оскільки часто одного мікрофону не вистачає, а реалізовувати масив немає можливості. Натомість 2 мікрофони можуть забезпечити достатній рівень шумозаглушення в тракті записування звуку для будь-якої носимої системи, в тому числі і розумних окулярів. Існуючі методи фільтрації адаптивними методами цілком достатні для подібних рішень.

Вібродинамік виконує роль головного відтворювача звуків цієї системи. Таке рішення створює ряд переваг та розширює застосування в різних середовищах та серед різних груп населення, наприклад:

- 1) Використання для людей з пошкодженим зовнішнім вухом.
- 2) Використання системи будучи учасником дорожнього руху.
- 3) Використання системи в ситуаціях, що потребують вільного зовнішнього звукового каналу, де не можна використовувати навушники.
- 4) Забезпечення чутності в гучних громадських місцях.

Таким чином, використання технології кісткової провідності можна вважати обов'язковою рекомендацією для використання в розумних окулярах. Оскільки навіть конструкція дозволяє зручне користування даною технологією на відміну від навушників з кріпленням за шию.

В якості системи керування обрано сенсорну панель, що являє собою 3 окремі кнопки, які підключаються до мікроконтролеру та оброблюються за методом використання одного компаратора та одного таймера. Така технологія дозволяє використовувати сенсорні кнопки за відсутності спеціальних вбудованих блоків та без використання додаткових мікросхем. Детальніше дана технологія та варіанти її заміни розглянуто у розд. 3. Сенсорні кнопки розташовуються на дужці. Роль матеріалу зовнішнього покриття може виконувати як матеріал, з якого виготовлено дужку окулярів, так і спеціальні вставки скляної поверхні.

В підрозд. 1.4 вказано основні функції, що мають бути наявні в розроблюваному рішенні. Деякі з них базуються на апаратній або програмних частинах виконавчого органу. В залежності від характеристик процесору в ньому будуть доступні необхідні дані системі параметри. Детальний розгляд запропонованих до використання чіпів з порівняльною таблицею буде викладено у розд. 3 даної роботи. Щодо вибору процесору, то прослідковується характерна лінійна залежність технічного наповнення процесору в залежності від компетентності та/або вузькому профілі компанії виробника. Це, зазвичай, відображено в кількості периферії, яку виробник розміщує на одному кристалі з виконавчим ядром. Більш профільні виробники знають, які саме задачі мають виконуватись за допомогою їх продукту, тому вбудовують в свою систему аудіо-кодек, підсилювач НЧ, підтримку голосових асистентів тощо.

## **2.2 Аналіз методів шумозаглушення та обґрунтування вибору базового для застосування**

В системі використовується передача звуків користувачу через вібродинамік, така система не потребує реалізації процедури шумозаглушення у вихідному тракті, оскільки завушна кістка - мастоїд виступає резонатором, а сигнали із зовнішнього середовища змішуються вже у внутрішньому вусі, що дає змогу якісно чути обидва джерела сигналу. Система шумозаглушення необхідна для мікрофонів, оскільки потрібно як можна чіткіше перевести вхідний сигнал в цифровий, тому що від цього залежить не тільки якість голосу для співрозмовця, але і правильність детектування голосових команд голосовим помічником.

Існує декілька основних підходів, які в свою чергу мають доволі різні реалізації та вдосконалення під окремі випадки застосування:

- 1) Одноканальне зменшення шуму
- 2) Багатоканальне зменшення шуму
  - Адаптивна фільтрація
  - Нейронна мережа
- 3) Масив мікрофонів

Класичним підходом до застосування одноканального рішення зменшення шуму активного мікрофона є спектральне віднімання. Існує безліч джерел шуму, що містять різні характеристики спектру, незмінні або змінні в часі. При спектральному відніманні ідея полягає в тому, що акустичний шум є адитивним і, отже, його можна відняти від спотвореного сигналу. Ця концепція порівняно проста, але спирається виключно на точну оцінку спектру шуму. Отже, основним критерієм одноканального методу зменшення шуму є отримання точної моделі часового варіанта системи.

У більш сучасних системах компоненти, пов'язані з мовою, також оцінюються та вдосконалюються, щоб забезпечити більш високий загальний показник. Наприклад, деякі підпрограми для вдосконалення мовлення оцінюють частоту висоти тональності озвученої ділянки мови, а потім застосовують гребінчастий фільтр для видалення спектральних компонентів, не пов'язаних з частотою звуку та її гармонік.

У багатоканальних сценаріях активного придушення акустичного шуму, зазвичай, другий мікрофон розміщують поблизу джерела шуму і досить далеко від джерела звуку, тому сигнал від другого мікрофона може бути використаний як оцінка в техніці спектрального віднімання, описаній вище. У багатоканальній системі шумозаглушення, де інформація про напрямок прибуття є недостовірною, двоканальна методика оцінки може бути використана з алгоритмами шумозаглушення звуку. Це розширення методу одноканального оцінювання і використовує інформацію про різницю фаз для визначення ймовірності присутності мови та оцінки компонентів мовного спектру.

### **2.2.1 Мультиканальний адаптивний метод**

На рис. 2.2 зображено використання системи мультиканального адаптивного методу шумозаглушення на прикладі кабіни пілота в літаку.

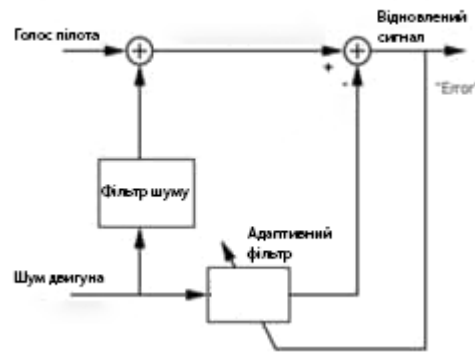


Рисунок 2.2 – Блок-схема адаптивного двохканального фільтра

В цілому не важливо, де саме застосовується мультиканальна система, її варіант виконання, зазвичай, один і той самий з мінімальним вдосконаленням. Суматор складає корисний сигнал і шум, який проходить крізь адаптивний фільтр з корекцією помилки.

На рис. 2.3 зображено схема адаптивного фільтра. Зашумлений сигнал – сигнал з основного мікрофону, який має зашумлений спектр. Корельований сигнал – сигнал з другого мікрофону, роль якого фіксувати тільки шум.

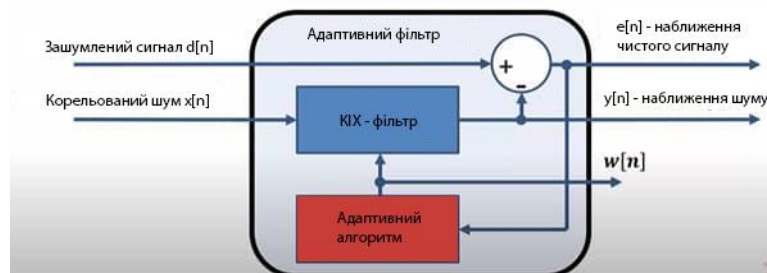


Рисунок 2.3 – Схема адаптивного фільтра

Таким чином, корельований сигнал потрапляє на КІХ фільтр, роль якого змінити шум так, щоб він став схожим на шум в зашумленому сигналі. Це потрібно для урівняння рівня шуму, бо на  $d[n]$  та  $x[n]$  він різний у зв'язку з різним векторним направленням мікрофонів. Цей метод не гарантує повне очищення корисного сигналу, тому має місце говорити про наближене очищення сигналу. Щоб покращити якість очищення в систему додають адаптивний алгоритм, роль якого полягає в налаштуванні коефіцієнтів таким чином, щоб максимально зменшити помилку та виділити корисний сигнал. Далі



наведено практичне доведення поліпшення спектру сигналу  $e[n]$  у випадку використання лише КІХ-фільтру та із застосуванням адаптивної фільтрації.

Симуляція та результат роботи адаптивної фільтрації зображена нижче на рис.(2.4 - 2.7). Як видно зі схеми на рис.2.4 на вхід адаптивного фільтру поступає шумовий сигнал та зашумлений корисний сигнал.

Модель передбачає ідеальні умови у випадку, що шум мікрофону дорівнюватиме рівню шуму в корисному сигналі. Цей ефект можна спостерігати на результатах симуляції моделі на рис.2.7.

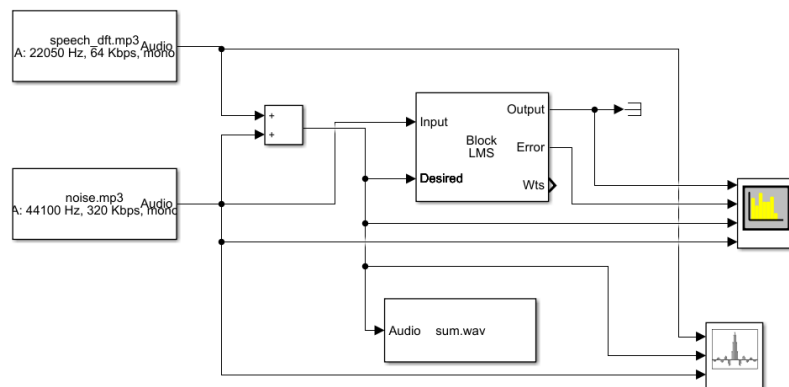


Рисунок 2.4 - Схема Simulink моделі

На рис.2.7 зображено результат адаптивної фільтрації зашумленого сигналу. Сигнал має тривалість 5 секунд, симуляція тривала 10 секунд, тому розділивши графік на 2 рівні частини отримаємо два графіки поряд для порівняння, з яких видно наростаючий ефект адаптивної фільтрації. Але так як сутність фільтру не дає можливості отримати 100% очищення від шуму, порівнюючи рис.2.5 та рис.2.7 можна побачити наявність сторонніх частот на корисному сигналі.

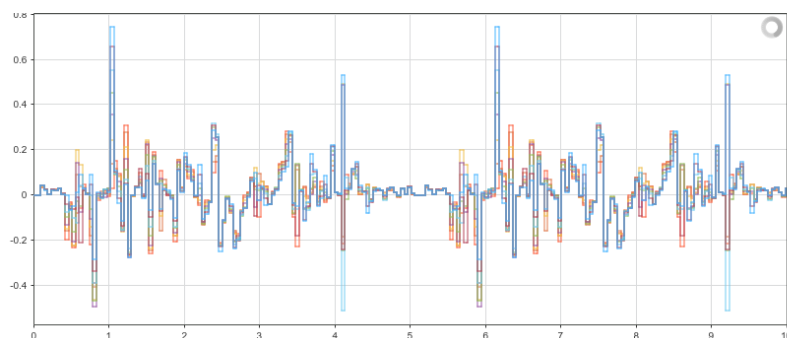


Рисунок 2.5 - АЧХ Вхідного сигналу

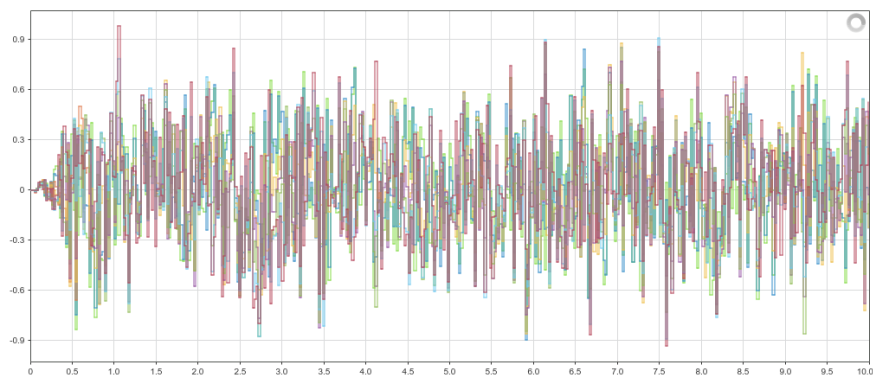


Рисунок 2.6 - АЧХ шуму



Рисунок 2.7 - Результат роботи адаптивного фільтру

### 2.2.2 Метод на основі нейронної мережі

Роль адаптивного фільтру в просунутих системах часто виконує нейронна мережа, ефективність якої вища ніж у звичайного фільтру з корекцією коефіцієнтів. Приклад блок-схеми мультиканального адаптивного шумозаглушення з використанням нейронної мережі зображено на рис.2.8.

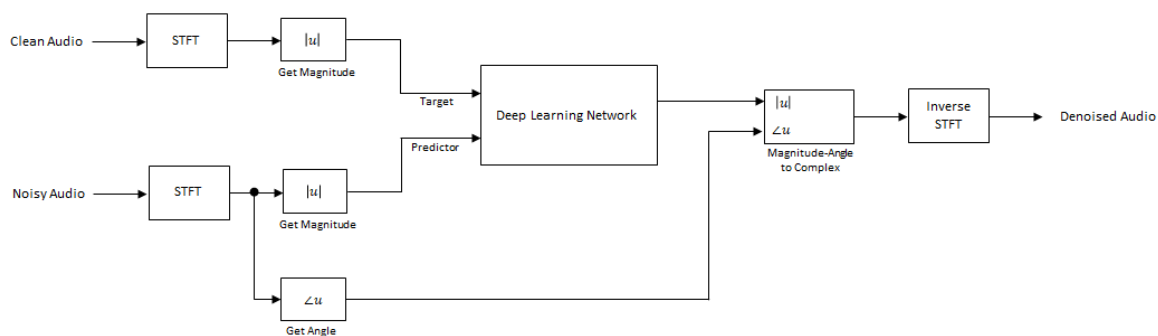


Рисунок 2.8 – Адаптивний фільтр на основі нейронної мережі

Для нейронної мережі існує три основних підходи збирання даних про шум:

- 1) Створення власної бази звуків, які в повсякденному житті вважаються шумом;
- 2) Використання вже готової бази;
- 3) Постійне навчання під час використання для покращення фільтрації в умовах характерних для кожного користувача незалежно.

Кожен підхід має певні недоліки та переваги, а також об'єм використання ресурсів системи. Для даної моделі можливо використання вже готових або власних баз. Постійне навчання займає багато ресурсів та підвищить енергоспоживання.

До найчастіших шумів з якими зустрічається користувач відносять:

- 1) Шум вітру\вентиляції
- 2) Шум автомобілів
- 3) Шум дороги
- 4) Дитячий шум
- 5) Шум ремонту
- 6) Шум сирени
- 7) Вулична музика

Саме їх наявність у виборці необхідна, оскільки потенційно людина найчастіше зустрічається з такими звуками, натомість, якщо системні ресурси дозволяють розширити базу необхідно використовувати більше різних вибірок для поліпшення результату та розширенню умов роботи. Також необхідно розуміти, що голос має частоту нижче 4 кГц, тому частота дискретизації може не перевищувати 8 кГц, що зменшить навантаження на процесорну частину пристрою.

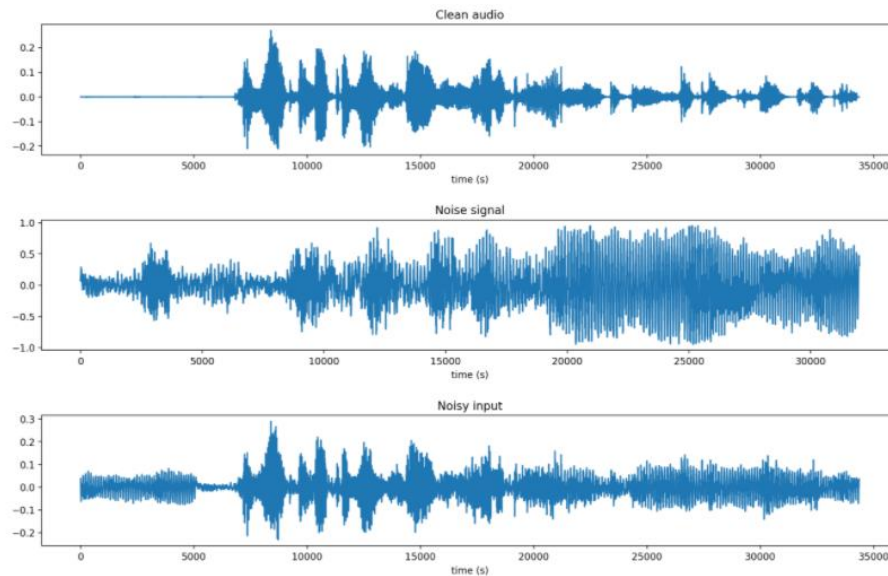


Рисунок 2.9 – Спектр сигналів та шуму [10]

На рис. 2.9 зображено графіки спектрів сигналів та шуму, де верхній – чистого корисного сигналу, 2 – шуму, 3 – композитного сигналу.

Сигнали в прогнозуючій та основній частинах являють собою амплітудні спектри шумових та корисних сигналів відповідно. Мережа регресії використовує прогнозуючий вхід, щоб мінімізувати середньоквадратичну помилку. Звуковий сигнал з шумозаглушенням перетворюється назад в часову область з використанням вихідного амплітудного спектру і фази зашумленого сигналу. Звук перетворюється в частотну область за допомогою короткочасового перетворення Фур'є з довжиною вікна 256 зразків перекриттям 75% та вікном Хеммінга. Після чого зменшується розмір спектрального вектора до 129, відкидаючи частотні відліки, що відповідають негативним частотам (оскільки мовний сигнал у часовій області є реальним, це не призводить до втрати інформації). Вхід предиктора складається з 8 послідовних векторів STFT з шумами, так що кожна оцінка виведення STFT обчислюється на основі поточного шумового STFT і 7 попередніх векторів STFT з шумами.

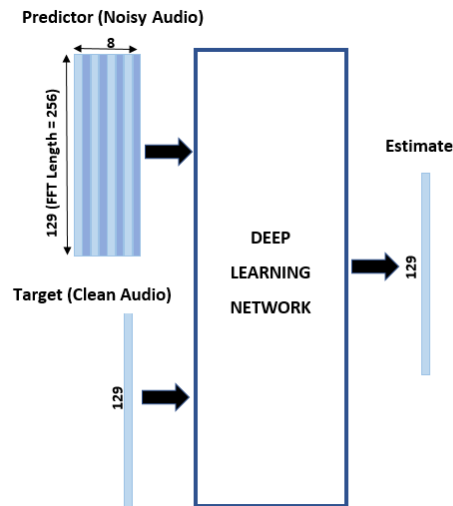


Рисунок 2.10 – Структура нейронної мережі

Сигнал після проходження через нейронну мережу в порівнянні з вхідним чистим та вхідним зашумленим сигналами зображено на рис.2.11, де зображено графіки спектрів сигналів, де верхній – чистий корисний сигнал, 2 – складений зашумлений сигнал, 3 – вихідний сигнал після фільтрації.

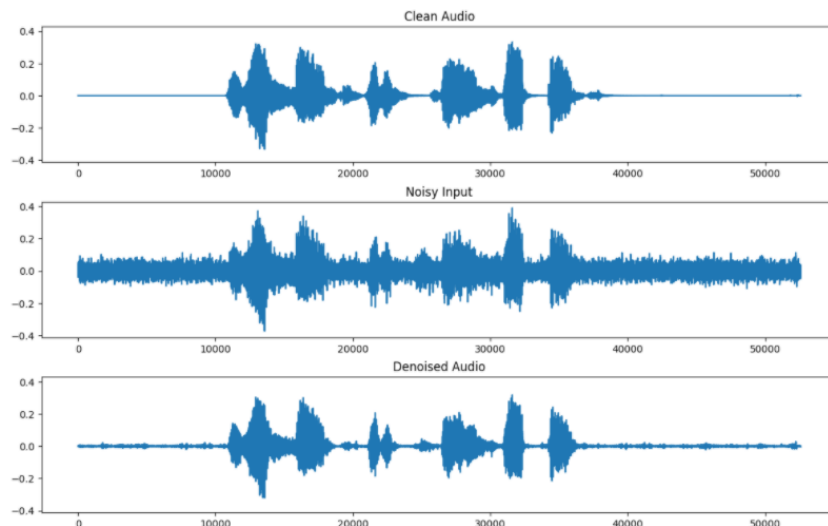


Рисунок 2.11 – Спектри вхідного корисного, зашумленого та вихідного сигналів

### 2.2.3 Метод багатоканального активного шумозаглушення із застосуванням мікрофонного масиву

Ще одним варіантом розвитку багатоканального активного придушення є використання масиву мікрофонів. Такі системи, зазвичай, рівномірно розташовують мікрофони по колу відносно центру.

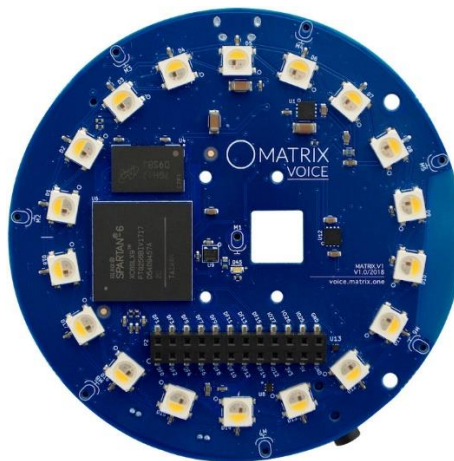


Рисунок 2.12 – Приклад застосування масиву мікрофонів [11]

Даний метод має найкращу чутність завдяки точному направленню одного чи декількох мікрофонів на джерело корисного сигналу, чого не відбувається при використанні одного чи двох мікрофонів в системі.

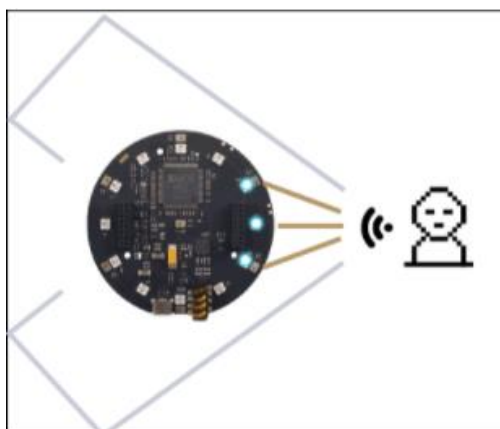


Рисунок 2.13 – Детектування сигналу [12]

Чим більше мікрофонів розташовано по колу, тим краще можна локалізувати джерело голосу, що означає покращення корисного сигналу на виході системи.

На схемі нижче показано схеми чутливості для двох різних установок мікрофона. На лівій діаграмі показано схему ідеального всенаправленого мікрофона - мікрофон має однакову чутливість до сигналів з усіх боків. Зображення правої руки показує сфокусований шаблон чутливості, націлений на максимальну чутливість в одному напрямку, тоді як усі інші напрямки мають знижену чутливість, метою є створення шаблону чутливості, що призводить до здатності «слухати» сигнали, що надходять з одного напрямку .

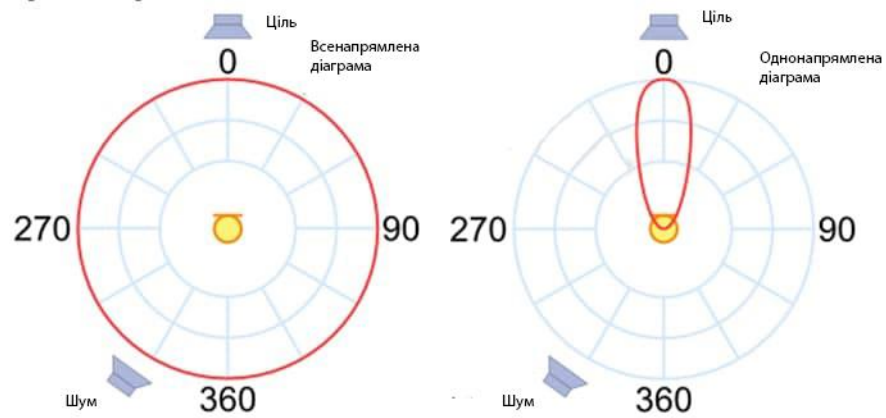


Рисунок 2.14 – Діаграма чутливості. Ліворуч – масив мікрофонів, праворуч – один сфокусований мікрофон.

Ефект формування променю може бути досягнутий за допомогою простого лінійного масиву мікрофонів. Такий масив проілюстрований нижче, в цьому випадку масив має три мікрофони. Незавжди помітити, що напрямок, з якого бере початок хвильовий фронт, впливає на час, коли сигнал відповідає кожному елементу масиву. При надходженні з  $-45^\circ$  сигнал потрапляє спочатку до лівого мікрофона, при надходженні з перпендикуляра до масиву (що називається широкостороннім) сигнал досягає кожного мікрофона одночасно, а коли від  $+45^\circ$  правий мікрофон отримує сигнал першим. Якщо вихід масиву створюється шляхом підсумовування всіх сигналів мікрофона, максимальна амплітуда виходу досягається, коли сигнал надходить від джерела, перпендикулярного масиву; сигнали надходять одночасно, вони сильно корелюють у часі і підсилюють один одного. Як варіант, якщо сигнал походить з не перпендикулярного напрямку, вони надходять у різний час, тому будуть менш корельованими і матимуть меншу вихідну амплітуду.

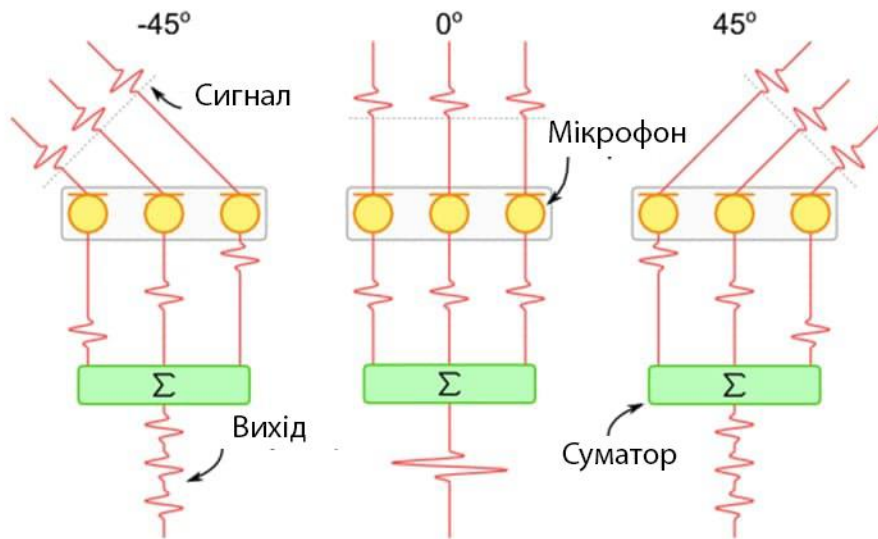
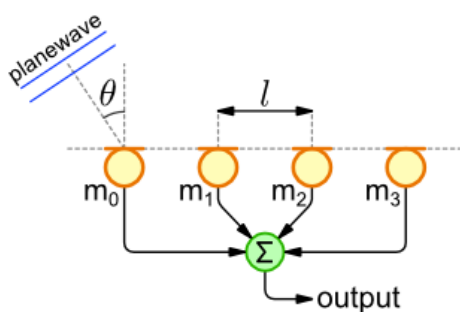


Рисунок 2.15 – Лінійний масив мікрофонів

На зображенні нижче показано масив із чотирма мікрофонами. Кожен масив відокремлений відстанню  $l$  (у метрах). Кут прибуття вимірюється від перпендикуляра до масиву. Рівняння нижче обчислює коефіцієнт підсилення масиву для однієї частоти  $f$  та кут прибуття  $\theta$ ,  $c$  позначає швидкість звуку, а  $N$  - кількість мікрофонів.



$$output = 20 \log_{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} e^{\frac{j 2 \pi f i l \sin(\theta)}{c}} \right)$$

Рисунок 2.16 – Масив з 4-ма мікрофонами

Наразі масив мікрофонів важко впровадити в носиму електроніку, це вважається надлишковим, тому виробники встановлюють системи з 2-4 мікрофонами, один мікрофон максимально направлено до ротової порожнини людини, а інший – максимально не направлено. Інші два розміщуються так само лише з другого боку від користувача. В такому разі відбувається ефект, що зображений на рис.2.16, для основного мікрофону вектор направленості



дасть максимальну амплітуду голосу і мінімальну амплітуду шуму, а для додаткового мікрофону навпаки, шум матиме більшу амплітуду, ніж голос.

### 2.3 Розроблення імітаційної Simulink-моделі системи та її акустико-електричного тракту

Оскільки всю систему складно якісно промоделювати, Simulink [13] модель включає в себе акустико-електронний тракт починаючи з імітації сигналу на мікрофонах 1 та 2, систему активного шумозаглушення і систему активації голосом.

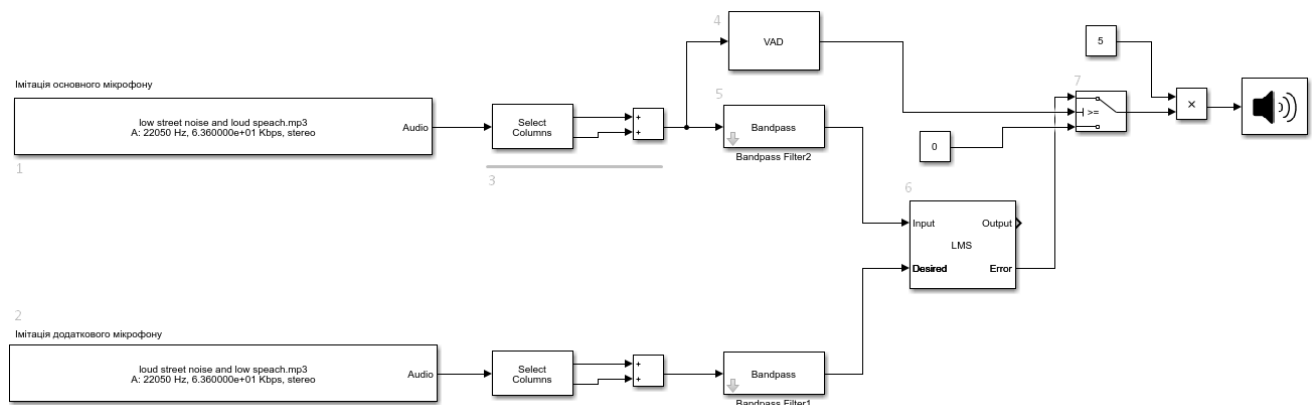


Рисунок 2.17 - Схема Simulink моделі акустико-електронного тракту системи

Умовні позначення:

- 1 – Імітація основного мікрофону
- 2 – Імітація додаткового мікрофону
- 3 – Додатковий блок для симуляції
- 4 – Блок активації голосом
- 5 – Смугові фільтри
- 6 – LMS фільтр
- 7 – Селектор

Сигнал імітації мікрофонів складається з двох складових. Перша – чиста мова людини, друга – фоновий шум. Для основного мікрофону розподілення сигналу у відношенні 70% корисного сигналу на 30% шуму, для додаткового – навпаки, 70% шуму і 30% корисного сигналу.

Таке розподілення створено спеціально, оскільки, як зазначалось вище, основний мікрофон направляють як можна точніше до ротової порожнини людини, щоб мати вектор направленості саме на голос людини, але все рівно з сигналом фіксується певний шум. Додатковий мікрофон навпаки, його мета - фіксувати шум навколо системи, тому основна частина сигналу має бути шумом з наявністю голосу користувача, оскільки це близьке джерело звуку, воно все рівно буде фіксуватись, хоча не так виражено як основним мікрофоном.

Блок 3 необхідний для того, щоб розділити стерео масив на два моно канали, а потім їх об'єднати в один моно канал суматором сигналів. Це необхідна дія лише для моделювання, в реальному тракті мікрофон вже видає моно сигнал і цю частину схеми застосовувати немає потреби.

Смугові фільтри (блок 4) налаштовані в діапазоні від 100 Гц до 4000 Гц. Вони фільтрують лише голосовий діапазон людини, це необхідно для того, щоб не витратити ресурси та енергію на обробку непотрібних даних.

Основна ідея у роботі LMS фільтра полягає у наближенні оптимальних коефіцієнтів фільтра шляхом оновлення цих коефіцієнтів, щоб сходитись до оптимального значення. Базою є алгоритм градієнтного спуску. Алгоритм починається з припущення малих ваг і на кожному кроці, знаходячи градієнт середньоквадратичної похибки, коефіцієнти оновлюються.

Середньоквадратична похибка як функція ваг фільтра – це квадратична функція, що має лише один екстремум, що мінімізує середньоквадратичну похибку, яка є оптимальною вагою. Таким чином, LMS фільтр наближається до цієї оптимальної ваги, зростаючи чи спадаючи по середньоквадратичній похибці проти кривої ваги фільтра.

Вихідний блок складається з селектору вибору сигналу, якщо блок VAD зафіксував голос, на виході одразу буде сигнал, у випадку якщо голосу не зафіксовано – на виході не буде жодного сигналу.

Фільтр має наступні параметри:

Алгоритм – Normalized LMS

Довжина фільтру – 32

Крок – 0.002

Фактор витоку - 1

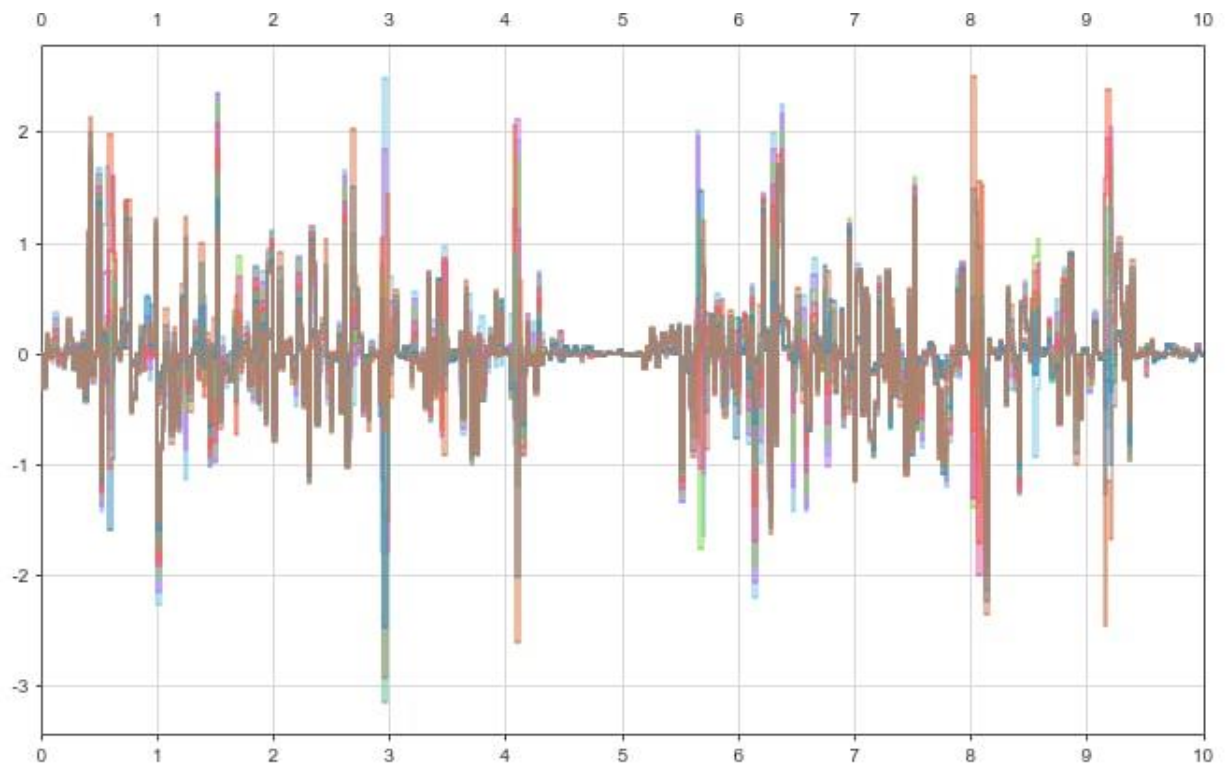


Рисунок 2.18 – АЧХ вихідного сигналу акустико-електронного тракту

Сигнал на рис. 2.18 умовно можна розділити на 2 частини від 0 до 5 відліку та від 5 до 10 відліку. Це один і той самий сигнал, який повторюється в часі.

Таким чином, можна встановити, що при запуску системи, адаптивний алгоритм недостатньо врівноважив коефіцієнти, тому сигнал має багато призвуків шуму. На другому інтервалі сигнал кардинально відрізняється від першого інтервалу, має менше шумів, але і меншою є амплітуда, але цей недолік можна виправити підсиленням сигналу. Починаючи від 5 умовної одиниці часу сигнал розмови завершується і від 5 до 5.5 сигнал дорівнює 0. Це результат роботи VAD та блоку 7 на рис. 2.17.

## 2.4 Моделювання тракту на основі методу багатоканального активного методу шумозаглушення

Для досліджуваної моделі застосовується 2 мікрофони в дужці. Мікрофон 1 напрямлений від джерела корисного сигналу для збирання інформації про шум, мікрофон 2 напрямлений на ротову порожнину користувача, щоб найкраще фіксувати корисний сигнал. На рис.2.19 показано розташування мікрофонів на одній дужці по правий бік голови.



Рисунок 2.19 – Розташування мікрофонів в системі

Створена Simulink модель для симуляції фільтрації наведена рис.2.20. На вхід подано два сигнали, які імітують вихідні сигнали мікрофона. Верхній сигнал має посилений корисний сигнал з домішкою шуму, оскільки реальний мікрофон не може зосередитись 100% на голос користувача і в будь-якому випадку в ньому буде присутній шум. Нижній сигнал, навпаки, має посилений фоновий шум, з домішкою голосу.

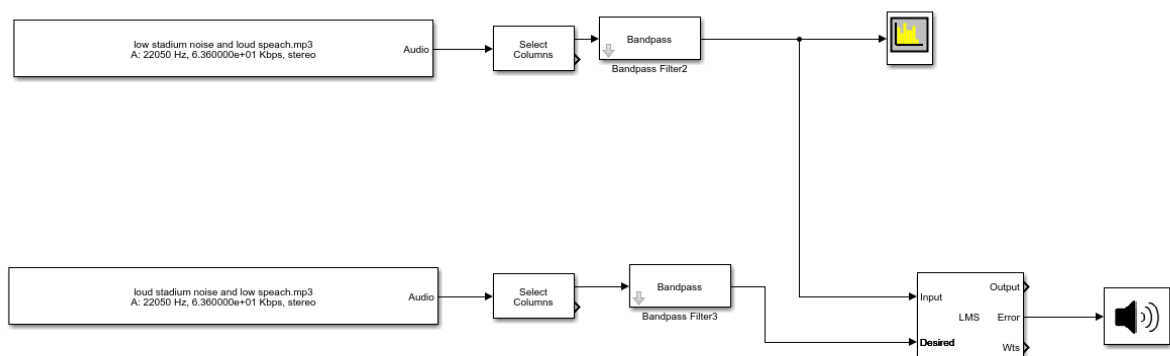


Рисунок 2.20 – Simulink модель акустико-електронного тракту

Обидва сигнали проходять крізь смуговий фільтр з наступними параметрами на рис.2.21.

Frequency specifications			
Frequency units:	kHz	Input sample rate:	8000
Stopband frequency 1:	100	Passband frequency 1:	300
Passband frequency 2:	3500	Stopband frequency 2:	3999
Magnitude specifications			
Magnitude units:	dB		
Stopband attenuation 1:	6	Passband ripple:	0.1
Stopband attenuation 2:	6		

Рисунок 2.21 – Параметри фільтру

Фільтр має амплітудно-частотну характеристику, наведену нижче на рис.2.22:

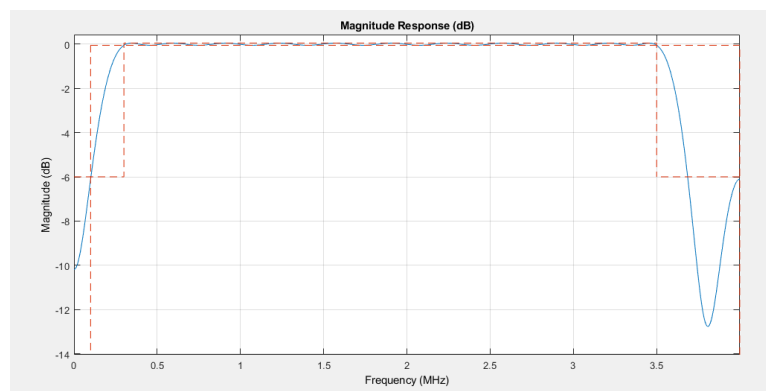


Рисунок 2.22 - АЧХ фільтру

Це забезпечить відокремлення шумів, які не лежать в частотному діапазоні голосу і збільшить ефективність адаптивного фільтру. Смуговий фільтр для обох мікрофонів має бути однаковим, щоб уникнути лагів та колізій у вихідному сигналі.

Результат симуляції відображено на рис.2.25. Видно, що недоліком є пропускання в перший момент часу на вихід повністю зашумленого сигналу, але далі адаптивний алгоритм справляється з фільтрацією зашумленої складової. Даний алгоритм в такому спрощеному виконанні пропускає на вихід певну частину шуму. Планується подальше удосконалення параметрів фільтру таким чином, щоб рівень шумової складової наблизився до нуля.

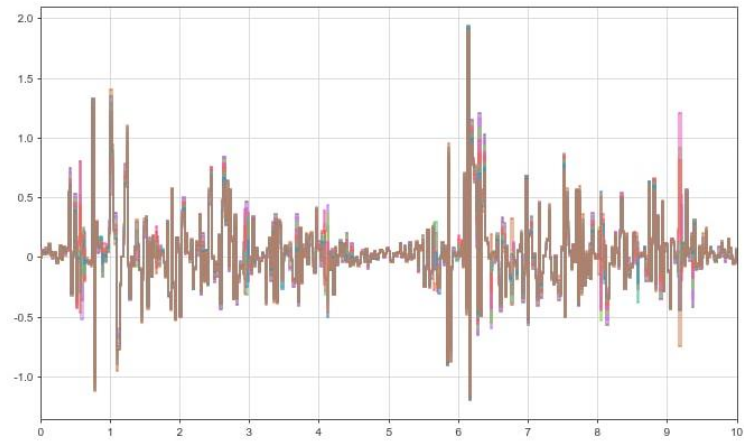


Рисунок 2.23 – Вхідний сигнал

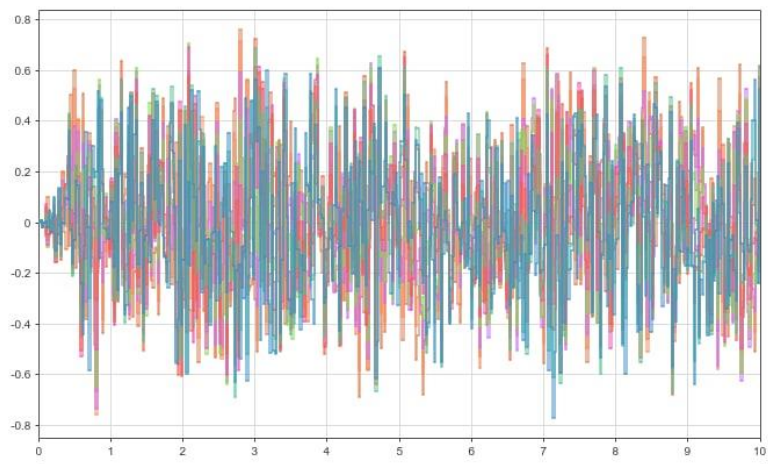


Рисунок 2.24 – Вхідний шум

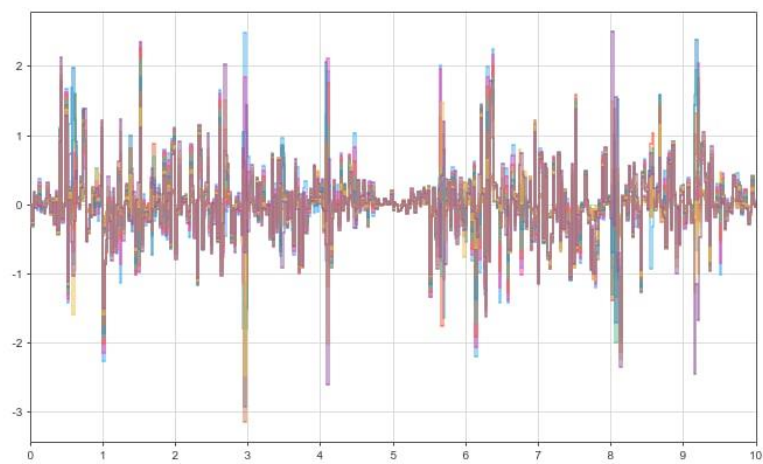


Рисунок 2.25 – Вихідний сигнал

## **Висновок до розд. 2**

Розроблено структурно-функціональну організацію системи для досліджуваного рішення, яка є основою нового виду розумних окулярів. Система включає в себе базові найбільш затребувані користувачами функції, що знижує кінцеву ціну з дотриманням концепції розумних окулярів, зокрема, використання результативних рішень в трактах звукопроведення та відтворення; підтримка голосового асистенту; мінімізація друкованого вузлу і, як наслідок, більш компактне масо-габаритне виконання; можливість встановлення корегуючих лінз для очей; використання зручних елементів керування.

Моделювання окремих функціональних блоків системи, зокрема, її акустико-електронного тракту показало результативність та простоту реалізації адаптивного методу активного шумозаглушення. В залежності від потужності та особливостей системи також можна використовувати нейронну мережу, однак це вплине на продуктивність системи в цілому та знизить її автономність.

## Розділ 3 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ РОЗУМНИХ ОКУЛЯРІВ

Для систем носимих пристроїв важливим фактором є економічність та ефективність технологій. Тому необхідно більш детально розібратись з методиками обробки сигналів в такій системі, зокрема активного шумозаглушення, системі відтворення та системі керування. Це доволі важливий аспект технічного вдосконалення, оскільки вся взаємодія потенційного користувача та моделі буде відбуватися шляхом голосових команд та(або) передачі голосу з можливістю використання touch-інтерфейсу.

### 3.1 Обґрунтування вибору обчислювального компоненту системи

Носимі пристрої потребують використання спеціалізованих мікросхем, оскільки вони мають забезпечити компактну реалізацію функцій, що притаманні звичайним мікроконтролерам. Вибір обчислювальних частин залежить від кількості вільного місця всередині приладу. Найкращою обчислювальною системою вважається власна система, яку компанія-виробник розробила спираючись на необхідні функціональні можливості. Такий підхід дозволяє оптимізувати систему під конкретний продукт, але ця процедура є дорогою і часто не використовується в системах, які можуть її не окупити. Тому аналізуючи описані вище фактори, виробники приходять до відокремлення різних функціональних блоків системи на різні мікросхеми. Так, на рис.3.1 зображено патент компанії Apple [14], в якому вказана блок-схема TWS навушників.

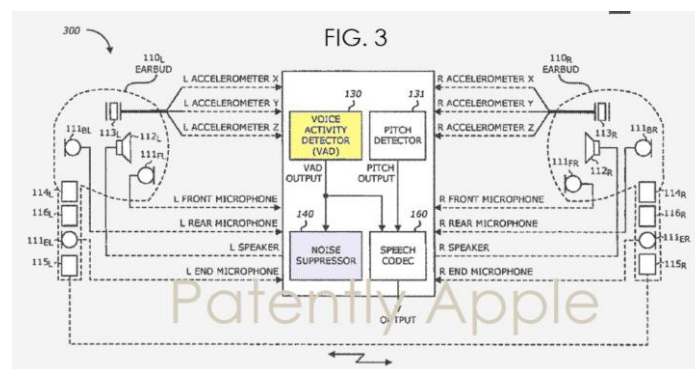


Рисунок 3.1 Структурна схема Apple AirPods



На рис.3.2 [15] не вказано, які саме компоненти має система, але розбір вже готового рішення показує, що там використовується 3 окремі мікросхеми для прийому\передачі сигналу, його обробки та аудіо-кодек.



Рисунок 3.2 – Apple AirPods в розібраному стані

Червоний – Apple 343500130 модуль бездротового зв'язку

Помаранчевий – SoC Cypress CY8C4146FN

Жовтий – Аудіо кодек Maxim 98730EWJ

Таким чином, компанія не витрачала зайві ресурси на розробку одного загального чіпу, а використала вже готові рішення, тим самим знизила вихідну вартість продукту зі збереженням компактності приладу.

Існують спеціальні компанії, котрі виробляють процесори для носимих пристроїв, серед них – Qualcomm, NXP, Dialog Semiconductor, Microchip, Nordic Semiconductor та інші. В табл.. 3.1 вказано характеристики чіпів вищевказаних виробників, які створені спеціально для носимих пристроїв та вже відібрані серед інших продуктів компаній.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика процесорних рішень різних виробників

№	Характеристика					
1.	Назва виробника	Qualcomm	NXP	Microchip	Dialog Semi.	Nordic Semi.
2	Серія	QCC5100 QCC30xx	2.4 GHz audio streaming	-	SmartBeat	-
3	Назва мікросхеми	QCC5127 [16] QCC5124 [17] QCC3046 [18]	NXH3670 [19]	IC2083 [20]	DA14195 [21]	nRF52832 [22]
4	Версія Bluetooth	5.0/5.2/BLE	BLE	5.0\BLE	BLE	5.2/BLE
5	Підтримка голосових команд	+	-	+	+	-
6	Наявність вбудованого підсилювача	+	-	+	+	-

7	Наявність зовнішні портів для програмування	+	+	+	+	+
8	Підтримка багатоканального активного шумоподавлення	+	+	-	+	-
9	Вбудований аудіо-кодек	+	+	+	+	-
10	Вбудований контролер заряду	+	+	+	+	+
11	Вбудований контролер сенсорного керування	-	-	-	-	-
12	Розміри мікросхеми	6.5x6.5x1(мм) 4.38x4.26x0.4(мм)	2.45x2.87x0.38(мм)	5.5x5.5(мм)	-	3.0x3.2(мм)

Аналізуючи табл.3.1 найбільш підходящим процесором можна вважати SoC компанії Qualcomm, оскільки виробник вбудував в структуру достатній набір необхідних функцій, а доступність користувацьких портів вводу/виводу дозволить реалізувати один з методів забезпечення контролю сенсорної панелі. В асортименті продукції є серії спеціалізованих систем на кристалі для використання в носимій техніці. На сайті [23] наведено схему Smart Headset Platform, яка показує можливість використання продукту компанії в пристрої, що носить на голові, в тому числі і в окулярах. Така структурна схема (рис.3.3) демонструє застосування чіпу QCC5124 для портативної стереоплатформи.

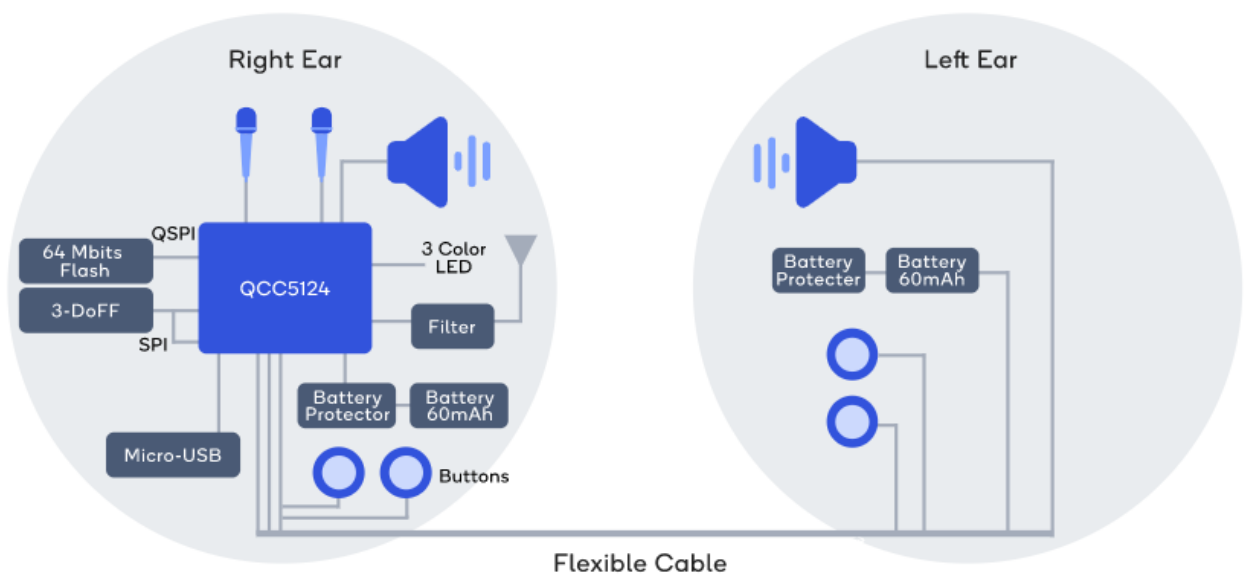


Рисунок 3.3 – Блок-схема від виробника

За схемою з рис.3.3 можна побудувати систему не тільки на QCC5124, можна обрати іншу серію чи інший чіп з серії QCC5100, що має необхідний набір функцій. На сайті компанії можна обрати чіп під будь-яку задачу завдяки широкому асортименту, різному набору функціоналу та різній продуктивності.

### 3.2 Тракт відтворення кісткової провідності звуків

При розробці носимих акустичних систем немає необхідності закладати велику вихідну потужність. Потужність звичайних навушників, якщо абстрагуватись від інших не менш важливих параметрів, становить десятки

одиниці завдяки своєму розміру. Натомість вібродинамік у схожому виконанні може досягати потужності в 1 Вт.

Вібродинамік – акустичний прилад, що своїми параметрами та принципами роботи схожий на звичайний дифузорний динамік, крім єдиної відмінності – відсутності дифузора. Дифузор замінений звичайною пластиною, яка при контакті з твердою поверхнею передає їй свої коливання, тим самим перетворюючи будь-який стіл, підлогу, меблі тощо в акустичну систему. Сам по собі вібродинамік не здатен видати звук, оскільки вібруюча пластина мала за фізичним розміром, йому потрібна більша поверхня для резонування.

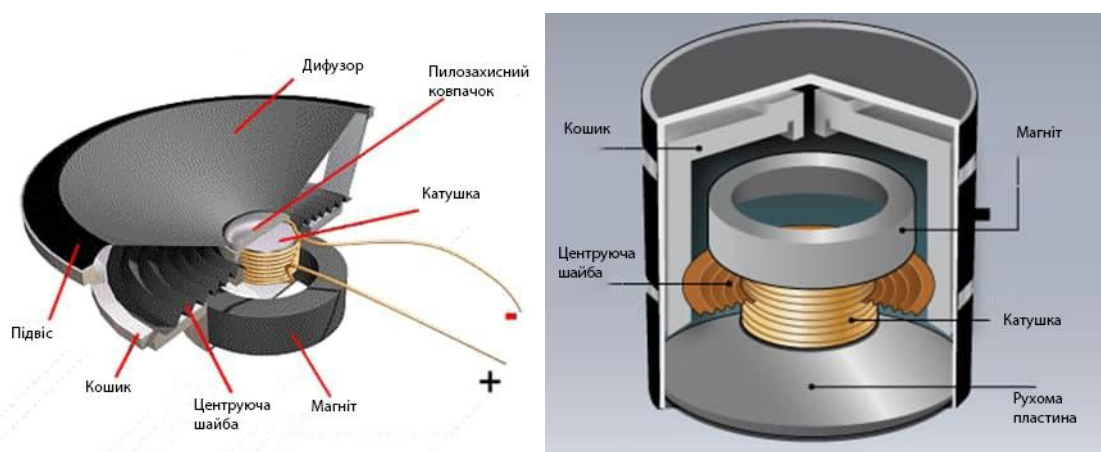


Рисунок 3.4 - Побудова дифузорного динаміку [24] та вібродинаміку [25]

Основною перевагою вібродинаміку є передача звуку напряму у внутрішнє вухо людини через мастоїд – вушну кістку. Ця властивість дає змогу розширити використання систем носимих пристроїв, наприклад, для учасників дорожнього руху – забезпечить відкритий вушний канал для вчасного реагування на дорожню обстановку, чи людей, у яких пошкоджено зовнішнє вухо, котрі фізично не можуть використовувати звичайні навушники.

Сучасні системи дозволяють використання різних технічних підходів для забезпечення підсилення вихідного сигналу, з них основними є або підсилювач, вбудований у виконавчу мікросхему або окрема мікросхема підсилювача.

Обидва способи активно використовуються в різних системах, і різниця між ними полягає лише в кінцевій компактності друкованого вузлу. З табл. 3.1 видно, що більшість з популярних виробників вбудовують підсилювач в SoC.

### 3.3. Технології підсистеми безпроводового зв'язку

Існує багато технологій безпроводової передачі даних. В кожному напрямку приладів, що потребують безпроводового з'єднання задіяна одна чи декілька технологій. Bluetooth — технологія безпроводового зв'язку, що стала головною в системах мобільних пристроїв. Створена у 1998 році, нині розробки в області Bluetooth ведуться групою Special Interest Group, до якої входять також Lucent, Microsoft та інші компанії, чия діяльність пов'язана з мережними технологіями. Основне призначення Bluetooth — забезпечення дешевого радіозв'язку з низьким рівнем споживання енергії між різноманітними типами електронних пристроїв, таких як мобільні телефони та аксесуари до них, портативні та настільні комп'ютери, принтери та інші. Причому, велике значення приділяється компактності електронних компонентів, що дає можливість застосовувати Bluetooth у малогабаритних пристроях.

Для носимих систем використовується технологія з'єднання Bluetooth [26] з редакцією 4 і вище та технологією Low energy, що належить до специфікації редакції 4 і вище. Особливістю BLE [27] є нова архітектура, в якій скорочення енергоспоживання відбувається шляхом наступних нововведень:

- 1) Щоб бути видимим для всіх пристроїв тепер необхідно менше часу знаходитись в ефірі і відповідно менше часу займати канал передачі.
- 2) Зменшення часу підключення за рахунок принципу Self-discovery-відсутність пінкодів при підключенні до пристрою.
- 3) Зменшення швидкості передачі з 24 Мбіт/с до 1 Мбіт/с

Наразі вважається, що чим новіша версія, тим краще її параметри та нижче енергоспоживання. Системи часто мають підтримку як звичайного Bluetooth так і BLE, комбінуючи особливості цих специфікацій отримують кращі характеристики не підвищуючи споживання до рівня звичайних протоколів.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика версій Bluetooth

Характеристика	Bluetooth	Bluetooth LE
Частота радіосигналу	2.4 ГГц	2.4 ГГц
Дальність дії	100 м	100 м
Швидкість передачі	24 мбіт/с	1 мбіт/с
Затримка	100 мс	6 мс
Мінімальний загальний час передачі	100 мс	3 мс
Максимальний струм	До 30 мА	До 15 мА
Потужність	1 Вт	0.01-0.05 Вт

### 3.4 Вибір та обґрунтування технології сенсорного інтерфейсу приладу

Керування носимими пристроями здійснюється за допомогою як сенсорних панелей, так і звичайних фізичних кнопок. Однак у сенсорного керування є ряд переваг, що змушують розробників використовувати саме цей тип керування. Крім відсутності необхідності натискати фізичну кнопку, тим самим порушуючи положення приладу, сенсорні системи забезпечують додаткову герметичність конструкції, що в умовах використання на відкритому повітрі є великою перевагою.

Існує багато способів побудови сенсорних панелей [28], але як правило вони будуються на ємнісних сенсорах. Принцип роботи полягає в зміні ємності поверхні при дотику до струмопровідного покриття.

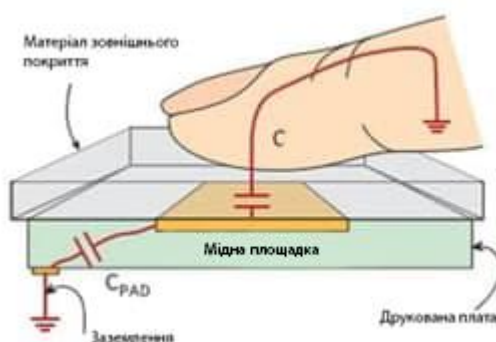


Рисунок 3.5 – Схема побудови сенсорної ємнісної кнопки

Доступні наступні технології реалізації сенсорних ємнісних панелей:

- 1) Вимірювання часу заряду / розряду RC-ланцюжка - при торканні в чутливій зоні кнопки змінюється ємність, відповідно змінюється постійна часу ланцюжка, що і реєструється контролером.
- 2) Опитування шляхом переносу заряду - вимірювання часу заряду вимірювального конденсатора розрядом конденсатора, утвореного сенсорною кнопкою. У цьому випадку конденсатор сенсорної кнопки періодично заряджається, а його розряд відбувається на інший конденсатор (вимірювальний). При торканні кнопки її ємність збільшується (накопичується більший заряд) і заряд вимірювального конденсатора відбувається за менший час.
- 3) Реалізація сенсорної кнопки за рахунок зміни поверхневої ємності. Ємність кнопки змінюється при наближенні пальця близько до її поверхні за рахунок додаткової ємності:
  - до землі через тіло людини;
  - ємності між людською рукою і пристроєм;
  - ємності між тілом людини і друкованою платою пристрою.
- 4) Проекційна ємність - за рахунок дотику змінюється діелектрична проникність, відповідно змінюється загальна ємність.

Для коректної реалізації сенсорних елементів управління необхідно дотримуватися рекомендацій за формою і розміром електродів ємнісного сенсора, розташуванню провідників і загального проводу на друкованій платі. Помилки призводять до втрати чутливості сенсорної кнопки, впливу на роботу кнопки інших сигнальних провідників схеми.

При розробці пристроїв із сенсорними кнопками розробнику доводиться вирішувати питання про спосіб їх реалізації:

- на дискретних логічних елементах;
- за допомогою спеціалізованих мікросхем;



- використовуючи зовнішні виводи мікроконтролера з відповідною програмною підтримкою та додатковими пасивними компонентами.

Варіант з дискретними логічними елементами веде до невиправданого збільшення місця на друкованій платі, додаткового споживання енергії, до збільшення часу на розрахунки та налагодження з сумнівною стабільності роботи.

Застосування спеціалізованих мікросхем - апаратних драйверів сенсорних кнопок - дає набагато більш стабільну роботу при мінімальних витратах на програмну підтримку. Ухвалення такого рішення обумовлене займаною площею, споживаної потужністю і ціною. Контролер в якості драйвера сенсорних кнопок є найбільш економічним рішенням - основні проблеми будуть полягати в програмному забезпеченні за умови, що обчислювальних ресурсів контролера вистачить для виконання основних завдань.

При використанні зовнішніх виводів мікроконтролера можна скористатись одним з наступних способів:

- Використання одного компаратора і таймера;
- Використання блоку ємнісних датчиків;
- Використання блоку вимірювання заряду.

### **3.4.1 Використання компаратора та таймера**

На інтегрованому в мікроконтролер компараторі і зовнішньому RC-ланцюжку побудований генератор. Частота генератора визначається постійною часу RC-ланцюжка, утвореної резистором і сумарною ємністю сенсора, яка, в свою чергу, визначається ємністю сенсорної кнопки  $C_p$  і ємністю  $C_f$ , що виникає при торканні сенсора.

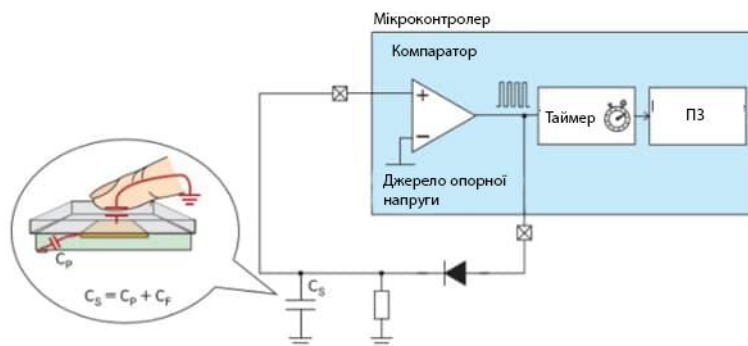


Рисунок 3.6 – Схема використання компаратора і таймера

Дотик кнопки можна розглядати як підключення паралельно ще однієї ємності  $C_f$ , що веде до зміни частоти генератора. Саме ця зміна фіксується мікроконтролером.

Вихід компаратора використовується в якості лічильного входу таймера Timer 0, приріст таймера виробляється по перепаду з 0 в 1 на виході компаратора. Знаючи ємність  $C_p$  і опір резистора, можна обчислити очікуване значення таймера TMR0 за фіксований час. Час вимірювання вибирається з міркувань, щоб пройшло досить багато циклів для забезпечення необхідної точності, але не сталося переповнення TMR0, з цих же міркувань зручно встановити дільник частоти TMR0 в максимальне значення 1: 256. Дотик кнопки призводить до зниження частоти генерації і, відповідно, частоти перемикавання компаратора. Таким чином, зчитуючи по циклу значення TMR0 через заданий фіксований час і порівнюючи його з раніше обчислених, можна зробити висновок про торкання кнопки.

### 3.4.2 Використання блоку ємнісних датчиків мікроконтролера

Деякі виробники чіпів вбудовують фізичний блок ємнісних датчиків для можливості підключення сенсорної кнопки напряму до контролеру без будь-яких зовнішніх компонентів.

В якості лічильника тактів, що виробляється генератором частоти, використовується таймер. Як джерело запуску і зупинки лічильника може використовуватися звичайний таймер або сторожовий таймер WDT. Алгоритм обчислення частоти і детектування торкання кнопки схожий з методом

компаратора і таймера, єдина відмінність, що всі зовнішні компоненти з минулого методу інтегровані в кристал.

### **3.4.3 Використання блоку зміни часу заряду**

Аналіз стану ємнісного сенсора принципово відрізняється від раніше описаних методів, так як проводиться вимірювання не частоти, а напруги, до якого зарядилася ємність за фіксований час. Принцип дії полягає в наступному: розряджена до 0 В сумарна ємність схеми сенсора починає заряджатися джерелом струму і заряджається протягом фіксованого часу; далі за допомогою АЦП вимірюється рівень напруги, до якого зарядилася ємність. Як варіант мікроконтролер з СТМУ може бути використаний для управління ємнісною сенсорною панеллю дисплея.

### **3.5. Розробка рекомендацій щодо використання отриманих результатів**

Отримані результати аналізу та дослідження можна використовувати при прототипуванні тестового зразку досліджуваної системи. Кожне рішення може масштабуватись в більшу чи меншу сторону в залежності від необхідності або можливих потужностей кінцевої системи. Система з інтегрованості в носимий аксесуар, може бути основою спеціалізованих, промислових окулярів. Де ваго-габаритні характеристики дещо менш значимі, але важлива технічна складова. В такому випадку можна використовувати більш якісний алгоритм адаптивного шумоподавлення на основі нейронної мережі, і більш потужніший процесор з топових рішень зазначених компаній виробників. Це дозволить вивести систему на новий рівень - підвищити її адаптованість до різних середовищ використання.

Система керування також може змінюватись в залежності від тестування запропонованого методу реалізації. Сенсорне керування є основним, оскільки пересічному користувачу в повсякденному житті значно простіше користуватись сенсорними кнопками або екранами. Не зважаючи на можливі колізії в спрацюванні таких панелей це є зручним рішенням керування саме

носимих приладів. Коли мова йде про прилад, який людина носить на голові, це означає, що його легко порушити. Фізичні кнопки лише сприяють такому порушенню оскільки для їх спрацювання необхідно прикласти силу, а також постійно виникає потреба додатково тримати всю систему, щоб втримати її на голові чи досягти спрацювання кнопки. Саме тому дана структурно-організаційна система включає сенсорне керування функціями, що на практиці означає менше порушення системи та підвищену зручність користування.

### **Висновок до розд. 3**

Запропоновано можливі технічні реалізації рішень, що наявні в предметі дослідження. Деякі виробники SoC процесорів не надають у вільний доступ технічну документацію до своїх продуктів, що не дозволяє якісно оцінити переваги одного продукту над іншим. Обґрунтовано вибір SoC компанії Qualcomm як найбільш підходящий для використання в системі за критерієм максимального числа функцій в чипі. Вибір конкретного сімейства та моделі процесора слід обирати виходячи з технічної документації, до якої, на жаль, не було надано доступ компанією під час роботи над дисертацією.

Показано доцільність застосування поширеної в мобільних рішеннях технології безпроводного зв'язку Bluetooth зі специфікацією BLE. Така архітектура дозволяє зменшувати параметри Bluetooth до більш енергоефективних, тим самим збільшуючи автономність системи.

Огляд процесорних рішень показав, що жоден з досліджуваних чіпів не має вбудованої системи керування сенсорними панелями, тому прийнято рішення щодо інтегрування способу включення на основі компаратора і таймера. При подальшому проектуванні системи за матеріалами даної дисертації допускається використання будь-якого описаного способу опитування сенсорної панелі, оскільки це тільки покращить відгук сенсорної системи.

## Розділ 4. СТВОРЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Ідея стартапу полягає у виробництві та збуту технічного виробу за результатами напрацювань даної дисертації. Вихідний продукт має містити наступні технічні та ваго-габаритні характеристики:

- 1) Ергономічний форм-фактор.
- 2) Максимальна подібність класичним окулярам.
- 3) Можливість використання широкого набору лінз.
- 4) Звуковий тракт з використанням вібродинаміку.
- 5) Підтримка режиму гарнітури.
- 6) Підтримка голосового асистенту.
- 7) Система подавлення шуму вхідного сигналу.
- 8) Підтримка з'єднання за технологією Bluetooth.
- 9) Виконавча процесорна частина.

В табл. 4.1 викладено аналіз змісту ідеї, напрямків застосування, переваги та недоліки в порівнянні з існуючими аналогами [29].

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги
Викладений в описі	1) Ергономічність	Підвищення універсальності та зручності кінцевого продукту
	2) Використання вібродинаміку	Розширення умов використання приладу та підвищення безпеки користувача

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги
	3) Голосове та сенсорне керування	Дружній до користувача інтерфейс
	4) Система активного шумозаглушення	Підвищена чутність користувача та покращена розбірливість мови для голосового асистенту

Висновки: Стартап реалізує ідею, описану в даній дисертаційній роботі, табл. 4.1 демонструє переваги основних технічних рішень щодо запропонованого варіанту реалізації.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів				W	N	S
		Мій проект	Конкурент №1	Конкурент №2	Конкурент №3			
1.	Масо-габаритні х-ки	8	6	4	7			+
2.	Функціональність	4	7	6	9	+		
3.	Технологія передачі даних	BLE	BLE	BLE	BLE		+	
4.	Комунікація з користувачем	10	10	10	10		+	
5.	Собівартість	3	5	5	9			+
6.	Масштабованість	7	5	5	7		+	
7.	Можливість заміни лінз	10	10	10	5			+

В табл.4.2 оцінка виставлена за критерієм від 1 до 10, де 1 – дуже погано, 10 – дуже добре.

Пояснення до табл. 4.2:

Масо-габаритні характеристики – ергономічна складова приладу з врахуванням зручності користування.

Функціональність – кількість функцій приладу.

Масштабованість – можливість застосування системи в різних життєвих ситуаціях.

W – слабка сторона.

N – нейтральна сторона.

S – сильна сторона.

Висновки: У порівнянні з конкурентами система має меншу собівартість при меншому функціоналі. Однак, не зважаючи на деякі недоліки, загалом система набирає більшу кількість переваг, ніж конкуренти.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея	Технології та реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1.	Зменшення ваго-габаритних характеристик	Зменшення корпусу приладу, а от же і зменшення ваги шляхом використання малої кількості компонентів малих розмірів.	Наявна	Доступна
2.	Використання готового SoC в якості процесорної частини	Наявні рішення процесорів для мобільних приладів дозволяють обрати необхідний для реалізації технічного рішення.	Наявна	Доступна.

№	Ідея	Технології та реалізації	Наявність технології	Доступність технології
3.	Виготовлення власного чіпу	Найкращим варіантом, буде проектування та виготовлення власного чіпу з необхідними параметрами, це дозволить забезпечити краще виконання п.1.	Наявна	Важко доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: використання готового SoC в якості процесорної частини. Така технологія, при обраному технічному наповненню забезпечить виконання п.1.				

#### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку(найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	5
2.	Загальний обсяг продаж, грн\ум.од	20000
3.	Динаміка ринку	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6.	Середня норма рентабельності, %	63%

Висновки: Згідно табл. 4.4 вихід на ринок є рентабельним, на це впливає мала кількість основних ринкових гравців та достатній відсоток рентабельності. Також необхідно враховувати ринок, на який здійснюється вихід. На ринку більш розвинених країн, конкуренція є більшою, а отже і вихід на ринок є важчим.



Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Зменшення ваго-габаритних розмірів зі збереженням/покращенням функціональності	Приватний сектор	Інтеграція з існуючими носимими рішеннями та підтримка інфраструктури між ними	Низьке енергоспоживання, естетичний вигляд, різноманітні технічні можливості
2.	Збільшення функцій	Державний сектор, приватний сектор	Формування великого набору можливостей для розширення умов застосування	Надійність, не високе енергоспоживання, швидкодія системи

Висновки: Ринок носимих приладів, в тому числі розумних окулярів, розділяється потребами користувача, його фінансовими можливостями та необхідностями в тому чи іншому рішенні. Тому в якості головних технічних рішень можна обрати надійність роботи, енергоефективність та естетичний вигляд.

Таблиця 4.6 – Фактори загрози

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Якісний	Погана якість складання	Поліпшення технологічних процесів на виробництві
2.	Економічний	Економіка країни де виробляється продукція та/або країни реєстрації компанії	Зміна країни, пошук додаткових фінансових вкладень
3.	Вартість комплектуючих	Підвищення ціни закупівлі	Пошук інших постачальників
4.	Конкуренція	Вхід на ринок конкурентів з більш відомим ім'ям	Поліпшення рекламної кампанії, впровадження на інших ринках

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1.	Збільшення попиту	Збільшення зацікавленості	Підвищення продажів та виробництва продукції
2.	Зростання технологічності продукції	Поліпшення якості	Зростання попиту у зв'язку з більш якісною продукцією
3.	Розширення лінійки продукції	Ріст зацікавленості користувачів, розширення цільової аудиторії	Більше захоплення ринку, підвищення продажів
4.	Співпраця з великими компаніями	Переїняття досвіду, кооперації для підвищення якості вихідного продукту	Розширення штату, злиття з іншими великими компаніями.

Висновки: Сфера носимих пристроїв, в т.ч. розумних окулярів є новою для українського ринку за відсутності вітчизняних виробників. Вся продукція лише набирає популярність серед користувачів, при цьому єдиним стримувавцем є економічна складова, деякі рішення коштують надто

дорого, тому популяризація проходить повільно. Випуск якісного технологічного рішення дозволить виправити ситуацію, оскільки якщо мова йде про розумні окуляри, на нашому ринку офіційно не представлено жодної моделі великих компаній. Найбільшу загрозу можна вбачати в економічному факторі, оскільки він є найбільш нестабільним та неочікуваним. Також суттєву загрозу можуть становити великі компанії, які з часом будуть охоплювати все більшу зону підтримки, ніж зараз.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентноспроможною)
1.	Тип конкуренції - чиста	Мала кількість виробників	Розвиток наявних рішень та розробка нових.
2.	За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Захоплення ринків різних країн	Вихід на міжнародний ринок
3.	За галузевою ознакою - міжгалузева	Можливість використання у різних галузях	Впровадження рекламної кампанії
4.	Конкуренція з видами товарів - товарно-видова	Запропонований товар одного виду	Краща адаптація до зміни ринку
5.	За характером конкурентних переваг - нецінова	Основною ціллю є якість та надійність товару	Постійне поліпшення якості та надійності продукції
6.	За інтенсивністю - марочна	Велика роль бренду в розвитку продукту	Підвищення статусу бренду шляхом рекламної кампанії

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М.Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Huawei North Intel Google	Apple Oculus	Залежність від наявності комплектуючих	Приватний сектор	TWS навушники
Висновки	Конкуренція визначається окремими ринками країн, в середньому є низькою.	Складність виходу на ринок залежить від наявних конкурентів, в даному випадку вихід є відносно простим.	Постачальник може диктувати умови якщо він є монополістом в поставках конкретного типу продукції.	Клієнти створюють потребу, яку мають виконати компанії розробники.	В найближчому майбутньому у можливості таких приладів будуть недостатніми.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння)
1.	Якість продукції	Завжди існує потреба на якісні речі
2.	Ціна продукту	Чим нижче ціна – тим більша доступність
3.	Актуальність розробки	Відносно новий напрям, в якому будь-яке технічне рішення може перевернути ситуацію.

Висновки: Фактори наведені в табл.4.10 підтверджують конкурентоспроможність даного стартапу.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Huawei						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Якість	20				+			
2.	Ціна продукту	20							+
3.	Актуальність розробки	20							+

Таблиця 4.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильна сторона: Низька собівартість Актуальність розробки Оптимальний функціонал пристрою	Слабкі сторони: Невеликий функціонал в порівнянні з конкурентами.
Можливості: Вихід на міжнародний ринок Зріст популярності в слаборозвинутих країнах	Загрози: Конкуренція Економічна нестабільність

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива(орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Термін реалізації
1.	Індивідуалізм	Висока	12 місяців
2.	Кооперація	Висока	15 місяців
3.	Суперництво	Низька	24 місяці

Висновки: в якості альтернативної ринкової поведінки обрано кооперацію у зв'язку з найнижчим терміном реалізації та високою імовірністю отриманих ресурсів.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживача приймати продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Просто- та входу у сегмент
1.	Приватний сектор	+	+	Висока	+
Які цільові групи обрано: приватний сектор					

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Кооперація	Інтенсивний розподіл	Адаптація до потреб користувача	Стратегія концентрації

Висновки: Стратегія концентрації та інтенсивний розподіл дозволять сформулювати поєднання невисокої ціни та унікальних характеристик товарів при високому розподілі продажів.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопроходом» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні х-ки товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Не є першопроходом	Компанія буде шукати нових користувачів шляхом впровадження продукції іншої цінової категорії	Компанія не копіює х-ки продукції конкурентів	Виклик лідеру

Висновки: Першопрохідність залежить від ринку конкретної країни\регіону. В загальному – не є першопрохідцем. Сфера відкрита для нових ідей та впроваджень, тому немає потреби копіювати чужі характеристики для своїх цілей. Стартап націлений на створення конкуренції в сфері носимої електроніки, але не претендує на перше місце, оскільки це викличе важку конкуренцію за лідерство.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентно-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Актуальність	Стратегія розвитку продукту	Новий тип пристрою	Швидке впровадження технологій
2.	Низька ціна	Стратегія розвитку продукту	Економічність	Подання технологій в маси
3.	Якість	Стратегія розвитку продукту	Конструктивні особливості	Забезпечення надійності
4.	Надійність	Стратегія розвитку продукту	Зменшення технічних впроваджень	Підвищений ресурс роботи

## 4.5 Розроблення маркетингової програми

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Впровадження нових технологічних рішень за доступною ціною	Новий носимий пристрій, який покращить комунікацію в швидкому світі	Ціна, технічне наповнення

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові			
1.Товар за задумом	Пристрій допоможе ввести новий тип розумної носимої електроніки в бюджетний сегмент			
2.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл\E\Op	
	Час роботи	10	год	
	Вартість	60	У.о.	
	Якість: стандарт пиле-вологозахисту IP68			
	Пакування: пристрій, кабель живлення, документація			
3. Товар із підкріпленням	Марка: власна марка виробництва			
	До продажу – на вимогу замовника			
	Після продажу – гарантійний обов’язок			
Товар захищається шляхом патентування				



Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар\послугу
1.	500-2000 у.о.	100-2000 у.о.	300-1000 у.о.	50-100 у.о.

Висновки: Середній рівень цін на подібну продукцію коливається в значно більших діапазонах ніж запропоноване технічне рішення. Враховуючи рівень доходів цільової групи користувачів можна припустити, що запропонований варіант буде мати більшу популярність.

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Продаж	Супровід товару до замовника	Нульового рівня	Безпосередній

Висновки: основним каналом збуту є продаж товару як з прямими продажами клієнта, так і з продажами через посередників. Саме під ці критерії підпадає глибина нульового рівня та безпосередня система збуту продукції користувачам.

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного повідомлення
1.	Бажання користувачів, особливо молодшої вікової категорії, спробувати як можна більше нових технічних рішень.	Реклама в соц. мережах, користувальницькі ролики на відео платформах	Доступна ціна, достатній функціонал, якість та надійність приладу.	Донести можливість доступності нового гаджету, що буде корисним в різних життєвих ситуаціях	Демонстрація можливостей приладу, варіантів його застосування.

Висновки: Маркетингові комунікації відбуватимуться шляхом використання популярних платформ та рекламних осіб, які мають популярність серед цільової аудиторії. Метою такої кампанії є донести до користувача про нового гравця на ринку носимих розумних пристроїв та його переваги для зацікавленості клієнтів.

#### **4.6 Можливі області застосування та очікуваний ефект**

Дане технічне рішення створено для використання в побутових умовах звичайними користувачами. Основна область застосування – щоденне користування як пристроєм для спрощення керування телефоном, більш швидкого пошуку інформації та спрощення користування зв'язком, що підвищує безпеку для користування водіями, велосипедистами, пішоходами і робітниками. Очікуваний ефект полягає в популяризації такого типу носимих пристроїв серед населення шляхом створення доступності в економічній складовій.

#### **Висновки до розд. 4**

Розроблено початковий етап створення стартап проекту. Проаналізовано можливість виходу на ринок, стан конкурентів та їх продукції. Сформовано картину цільової аудиторії та маркетингових заходів для залучення як можна більшої кількості користувачів до покупки продукту, описаного в ідеї стартапу.

Аналіз показав, що для отримання успіху необхідно дотримуватись стратегії індивідуалізму, з можливими коопераціями як альтернативний хід розвитку. Таким чином, залежно від ринку країни збуту, можна досягти лідерства на ринку не тільки серед бюджетних рішень, оскільки не всі великі виробники охоплюють світовий ринок збуту подібних технологій.

Найбільшу загрозу можна вбачати в економічному факторі, оскільки він є найбільш нестабільним та неочікуваним. Також суттєву загрозу можуть становити великі компанії, які з часом будуть охоплювати все більшу зону підтримки, ніж зараз.

Ринок носимих пристроїв, в тому числі розумних окулярів, розділяється потребами користувача, його фінансовими можливостями та потребами в тому чи іншому рішенні. Тому в якості головних технічних рішень можна обрати надійність роботи, енергоефективність та естетичний вигляд. Дотримання такого набору якостей товару забезпечить утримання і зріст продажів, оскільки користувач буде впевненим, що він придбає дійсно якісний продукт.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено важливу та актуальну науково-прикладну задачу зниження впливу зовнішнього шуму на відтворювану звукову інформацію системи розумні окуляри шляхом застосування методів шумозаглушення, розробки структурно-функціональної організації системи, імітаційної моделі акустико-електронного тракту та технічних рішень реалізації системи із забезпеченням найбільш затребуваних користувачами її функцій.

Під час виконання дослідження отримано наступні науково-практичні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану наявних на світовому ринку систем розумні окуляри, що дозволило визначити їх основні конструктивні особливості виконання, перелік функціональних можливостей та технічних показників, достоїнства та недоліки. Встановлено, що при наявності у останніх широкого функціоналу, включаючи голосовий асистент, їх використання дещо утруднене в складних акустичних умовах оточуючого середовища (наприклад, на вулиці, в громадському транспорті, супермаркетах тощо) із-за впливу шуму, що потребує вирішення завдання по зменшенню його впливу зі збереженням найбільш затребуваних користувачами функцій системи.
2. Проведено аналіз відомих технічних рішень побудови систем розумні окуляри за даними провідних світових патентних баз та відкритих реєстрів (USPTO, WIPO, ЕПВ тощо), що дозволило встановити основні складові структурних рішень систем-аналогів і принцип їх дії та, як наслідок, визначитися з базовими із них для створення структурно-функціональної організації розроблюваної системи, яка є потенційно патентоспроможною.
3. Обгрунтовано застосування в розроблюваному рішенні переліку найбільш затребуваних користувачем функцій, які приведуть до зниження кінцевої вартості системи з дотриманням концепції розумних окулярів, серед них:

- Використання результативних рішень в трактах звукопроведення та відтворення;
  - Підтримка голосового асистенту;
  - Мінімізація друкованого вузлу і як наслідок більш компактне масо-габаритне виконання;
  - Можливість встановлення корегуючих лінз для очей;
  - Використання зручних елементів керування.
4. Проаналізовано основні існуючі методи активного шумозаглушення та обґрунтовано вибір адаптивного двоканального методу активного фільтрування шуму в акустико-електронному тракті системи, що дозволить зменшити шум навколишнього середовища та підвищить якість спілкування з голосовим асистентом. Показано, що в залежності від потужності обчислювального ядра та особливостей системи також можна використовувати нейронну мережу, однак, це вплине на продуктивність системи в цілому та знизить її автономність.
  5. Запропоновано нову структурно-функціональну організацію системи розумних окулярів з трактом кісткового звукопроведення шляхом додаткового введення до її складу процедури адаптивного шумозаглушення на основі багатоканального методу, що дозволило зменшити вплив шуму оточуючого середовища при використанні системи в складних акустичних умовах.
  6. Розроблено Simulink-модель акустико-електронного тракту системи, що дозволило провести моделювання підсистеми активного адаптивного шумозаглушення акустико-електронного тракту та підтвердити ефективність запропонованого рішення.
  7. Обґрунтований вибір технічних рішень реалізації основних складових розроблюваної системи, включаючи обчислювальний компонент на основі чіпів компанії Qualcomm (платформа QCC5124 з можливою заміною на QCC3046), що є засадами для подальшого розроблення КД на систему.
  8. Розроблено початковий етап створення стартап проекту. Проаналізовано можливість виходу на ринок, стан конкурентів та їх продукції, що дало

змогу сформувати картину цільової аудиторії та маркетингових заходів для залучення як можна більшої кількості користувачів до покупки продукту. Показано, що для отримання успіху необхідно дотримуватись стратегії індивідуалізму з можливими коопераціями як альтернативний хід розвитку. Встановлено, що найбільшу загрозу можна вбачати в економічному факторі, оскільки він є найбільш нестабільним та неочікуваним. Крім того, загрозу можуть також становити великі компанії, які з часом будуть охоплювати все більшу зону покриття, ніж зараз.

Таким чином, можна стверджувати, що основні завдання роботи виконані, а мета магістерської дисертації досягнута.

Слід зазначити, що в цьому дослідженні розглядається виключно технічне наповнення системи. Тому деякі з описаних складових, наприклад, компонування корпусу, не розглядаються в межах цієї роботи.

Отримані результати можна використовувати при подальшому розробленні технічної документації на носимий пристрій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Google Glass / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.google.com/glass/start/>
2. Huawei x Gentle Monster / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://consumer.huawei.com/en/wearables/gentle-monster-eyewear/>
3. Focals by North / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.bynorth.com/focals>
4. Smart glasses with bone conduction function / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://ea.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EA&FT=D&date=20170608&CC=WO&NR=2017092166A1&KC=A1](https://ea.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EA&FT=D&date=20170608&CC=WO&NR=2017092166A1&KC=A1)
5. Bone conduction Bluetooth glasses / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://ea.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=CN&NR=204374550U&KC=U&FT=D&ND=5&date=20150603&DB=EPODOC&locale=en\\_EA](https://ea.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=CN&NR=204374550U&KC=U&FT=D&ND=5&date=20150603&DB=EPODOC&locale=en_EA)
6. Sound conduction method and devise based on bone sensing glasses and readable storage medium / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://ea.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=CN&NR=107071643A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20170818&DB=EPODOC&locale=en\\_EA](https://ea.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=CN&NR=107071643A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20170818&DB=EPODOC&locale=en_EA)
7. Glasses-type communications apparatus, system, and method / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fmetahtml%2FPTO%2Fsearch-bool.html&r=1&f=G&l=50&col=AND&d=PTXT&s1=%22US+20150295610+A1%22&OS=>
8. Wearable computing device with indirect bone-conduction speaker / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fmetahtml%2FPTO%2Fsearch->

bool.html&r=1&f=G&l=50&co1=AND&d=PTXT&s1=%22US+20160192048+A1%22&OS=

9. Smart glasses with bone conduction function / [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=WO002017092166A1&zd=1#zd>

10. Practical Deep Learning Audio Denoising / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sthalles.github.io/practical-deep-learning-audio-denoising/>

11. Mic array / [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.matrix.one/products/voice>

12. Far Fields mic (Mic array) — незаметный герой в умной колонке / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/431144/>

13. Mathworks / Simulink / [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.mathworks.com/products/simulink.html>

14. Patently Apple / [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.patentlyapple.com/patently-apple/2018/03/apple-granted-41-patents-today-covering-the-technology-behind-airpods-a-design-for-the-iphone-se-and-more.html>

15. AirPods teardown / [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://ifixit.com/Teardown/AirPods+Teardown/75578>

16. Qualcomm / QCC5127 / [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.qualcomm.com/products/qcc5127>

17. Qualcomm / QCC5124 / [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.qualcomm.com/products/qcc5124>

18. Qualcomm / QCC3046 / [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.qualcomm.com/products/qcc3046>



19. NXP / NXH3670 / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.nxp.com/products/wireless/2-4-ghz-audio-streaming/ultra-low-power-low-latency-audio-for-wireless-gaming-headphone:NXH3670>
20. Microchip / IC2083 / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/IS2083-Bluetooth-Stereo-Audio-SoC-Data-Sheet-DS70005403B.pdf>
21. Dialog Semiconductor / DA14195 / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.dialog-semiconductor.com/products/audio/usb-audio/da14195>
22. Nordic Semiconductor / nRF52832 / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/nRF52832>
23. Smart Headset Platform / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.qualcomm.com/products/smart-headset-platform>
24. How do loudspeakers work? / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://www.quora.com/How-do-loudspeakers-work>
25. How Vibration Speakers Work / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/audio-music/vibration-speakers.htm>
26. Bluetooth / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
27. Протокол Bluetooth Low Energy: підтримка пристроями і специфіка роботи / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://future2day.ru/protokol-bluetooth-low-energy/>
28. Компоненти і технології - Рішення Microchip Technology для реалізації сенсорного управління / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://kit-e.ru/commut/resheniya-microchip-technology-dlya-realizaczii-sensornogo-upravleniya/>
29. Методичні вказівки «Розроблення стартап проекту» - Київ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» 2016р. – Режим доступу: [http://kaf-pe.kpi.ua/wp-content/uploads/2015/04/roz\\_startap\\_proektiv\\_met\\_vk.pdf](http://kaf-pe.kpi.ua/wp-content/uploads/2015/04/roz_startap_proektiv_met_vk.pdf)



e-ISSN 2617-0965

# ***Електронна та Акустична Інженерія***

***Том 3 № 3, 2020***

• ***Мікросистеми та фізична електроніка***

• ***Електронні системи та сигнали***

• ***Акустичні прилади та системи***



# ЕЛЕКТРОННА ТА АКУСТИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

ТОМ 3, №3, 2020

## Зміст

### МІКРОСИСТЕМИ ТА ФІЗИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА

Скиба І. В.	Сенсор освітленості на основі кремнієвих нанониток	5
Андрієнко О. В., Дрозд І. М., Кузьмичев А. І.	Газорозрядні системи атмосферного тиску для біомедичних застосувань	11
Зелінський Д., Горохов В., Кондратенко О., Шмирьова Л., Семікіна Т.	Особливості використання алмазоподібних вуглецевих плівок в якості антивідбивних покриттів	16
Балашиов К. С., Кліменко В. А., Шмирьова Л. М., Мамикін С. В., Семікіна Т. В.	Дослідження п'єзофототронного ефекту в плівкових структурах $A_2B_4$	21

### ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА СИГНАЛИ

Мірошник К. В., Бевза О. М.	Використання енергії кроку людини як альтернативного джерела енергії	26
Максимович Б. О.	Розумні окуляри на основі SoC QCC5124	30
Сорокін Д. А.	Використання технології LoRa для вирішення задачі локалізації об'єктів в IoT-системах	34
Дячук О. В.	Порівняльний аналіз технологій класу LPWAN	40
Кудлай С. В., Зилевіч М. О., Яганов П. О., Редько І. В.	Концептомонадна модель технологічного середовища програмування	45
Ігнатенко О. О., Грамарчук Ю. О., Писаренко Л. Д.	Гребінчастий фільтр на ПАХ – резонаторі біжучої хвилі	50
Попомаренко Є. С.	Підходи до реалізації методики клім-ап в постпродукції кіно	54

### АКУСТИЧНІ ПРИБАДИ ТА СИСТЕМИ

Міцукова А. Ю., Онїкієнко Ю. О.	Автоматизована система налаштування освітлювального обладнання з можливістю подальшого корегування	59
------------------------------------	--	----

# Розумні окуляри на основі SoC QCC5124

Максимович Б.О., бакалавр, 0000-0002-1880-1506

[bmaximovich@gmail.com](mailto:bmaximovich@gmail.com)

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури [keoa.kpi.ua/](http://keoa.kpi.ua/)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [kpi.ua/](http://kpi.ua/)

Київ, Україна

**Анотація**—В статті запропоновано структуру побудови розумних окулярів на основі потужного процесору з використанням тракту кісткового проведення звуків. Розробку проведено на основі аналізу ринку носимої електроніки та дослідження популярних функцій серед користувачів. Обґрунтовано вибір корисного набору функцій окулярів для повсякденного користувача носимої електроніки, що дозволить створити більш компактну їх конструкцію, а передача звуку через заушну кістку – мастоїд забезпечить підвищену безпеку користувача та покращить слухову чутливість.

**Ключові слова:** розумні окуляри; кісткова провідність; SoC; голосове керування; Bluetooth 5.0; BLE;

## I. ВСТУП

Відомо, що наразі серед широкого кола користувачів відбувається стрімке поширення використання так званої розумної носимої електроніки - інтелектуальних електронних пристроїв, які значно спрощують сприйняття інформації людиною в сучасному житті. Цьому сприяють швидке виведення та доступ до потрібної інформації з можливістю голосового чи тактильного керування. Наслідком цього є адаптація людини в великому потоці інформації шляхом вилучення певних дій. Такі розумні пристрої можуть вивести інформацію останньої події, наприклад, у вигляді повідомлення на екран чи відтворити його і для цього непотрібно діставати смартфон чи йти до комп'ютера. Найбільш популярними продуктами носимої електроніки на сьогодні є розумні годинники та фітнес-браслети. Натомість розумні окуляри ще не завоювали популярність серед користувачів, оскільки не мали повністю визначеного балансу між їх функціоналом, технічним наповненням та масо-габаритними характеристиками. Сучасні розумні окуляри доступні для виконання від певних фахових робіт до повсякденних. Модель, яка розглядається в статті, відноситься до повсякденних окулярів та передбачає наявність необхідного для користувача набору лише найбільш поширених базових функцій, що сприятиме наближенню до згаданого вище ідеального балансу.

## II. АНАЛІЗ КОН'ЮНКТУРИ РИНКУ

Універсальні рішення для загального користувача мають не зовсім зручний форм-фактор для постійного знаходження пристрою на голові. Наприклад, Google Glass [1] – розумні окуляри всесвітньо відомої компанії Google, не зважаючи на преміальний дизайн не можна назвати компактними, однак це не завадило їм мати своїх прихильників.

Минулорічні презентації показали декілька цікавих моделей, які вже наближаються до створення тих розумних окулярів, якими їх бачить

користувач – вони мають не відрізнятися зовнішнім виглядом від звичайних окулярів.



Рис.1 Google Glass [1]

Компанія Huawei нещодавно презентувала нові окуляри власного виробництва Huawei x Gentle Monster[2], які майже не відрізняються від звичайних окулярів. Система створена як аксесуар разом з корейським виробником окулярів Gentle Monster, не має проекцій на лінзу чи камер, наявні лише звукова передача інформації та режим гарнітури. В цій конструкції застосовано динаміки, що не можна назвати ідеальним рішенням, оскільки в людських місцях буде менша чутність.

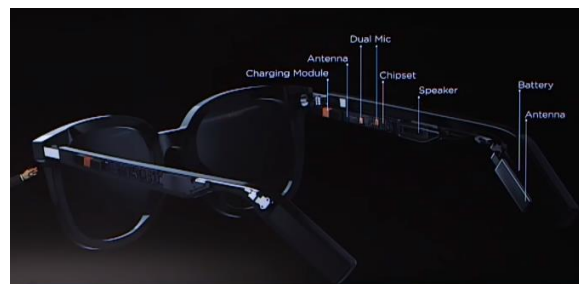


Рис.2 Huawei x Gentle Monster [2]

Окуляри Focals [3] компанії North є сучасним найбільш наближеним до ідеального балансу варіантом реалізації. Його особливою відмінністю є наявність проекції зображення, при цьому було збережено компактну конструкцію окулярів та їх

стильний зовнішній вигляд. Система має вагоме технічне наповнення, за допомогою проекції можна набагато ефективніше виводити корисну інформацію про навігацію, сповіщення тощо.

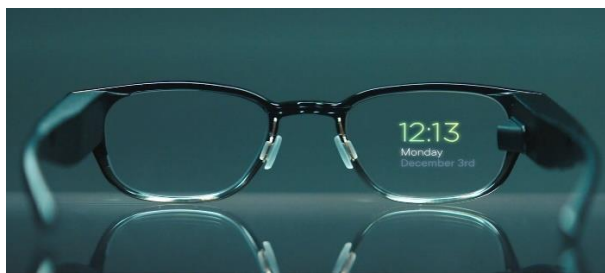


Рис.3 Focals by North [4]

Кісткова провідність звуку з наведених вище продуктів застосовується лише в Google Glass. Її суть полягає в проведенні звукових вібрацій до внутрішнього вуха через завушну кістку - мастоїд. Рівень звуку регулюється в децибелах і має максимальне значення на рівні 70 дБ. Але саме це є тим технічним рішенням, яке дасть змогу покращити сприйняття інформації в різних умовах і, що не менш головне, підвищити безпеку користувача, шляхом збереження можливості відчувати оточуючі звуки.

### III. ПРОБЛЕМАТИКА

Незважаючи на велику кількість створених розумних окулярів, їх всіх об'єднує одна основна проблема, яка полягає у знаходженні оптимального відношення їх функціоналу, технічних і масо-габаритних характеристик. Окуляри - це такі пристрої, який має бути максимально легким, зручним та привабливим на вигляд не втрачаючи при цьому в технічному наповненні. В світі електроніки постійно тримається тенденція, яка полягає в тому, що чим більші вимоги ставляться, тим складніше це виконати і тим дорожче воно буде. Тому поки цей напрямок носимої електроніки розвивається, необхідно створювати зацікавленість аудиторії шляхом побудови різноманітних систем з різним технічним наповненням від простих рішень до складних. Виробники розуміють, що ці розумні окуляри мають бути максимально компактними, але якщо не наповнити їх привабливим, місцями надлишковим, функціоналом, вони не будуть користуватись попитом. Однак, новітні технічні рішення, які дозволяють вирішити таку проблему, коштують доволі дорого і це, як наслідок, впливає на кінцеву ціну продукту. Оскільки всі розуміють, що це більше аксесуар, людей, зацікавлених у придбанні дорогих та не обов'язкових речей доволі мало.

Метою роботи є реалізація найбільш актуального для користувача базового функціоналу (доступ до голосового асистенту, повідомлення про сповіщення, режим гарнітури). При мінімальних масо-габаритних характеристиках з використанням

Рис.4 Структурна схема розробки

кісткового проведення звуків шляхом розробки структури побудови портативного розумного пристрою та вибору основних її складових, включаючи обчислювальний компонент на основі SoC (System-on-Chip).

Із врахуванням проблематики запропоновано структуру побудови розумних окулярів, яка містить в собі мінімально-достатній набір технічних рішень. Використовуючи цю модель можна забезпечити: передачу звуку з кістковим видом провідності замість звичайних динаміків, підтримку Bluetooth LE, Google assistant та режиму гарнітури. На рис.4 наведено структурну схему моделі.

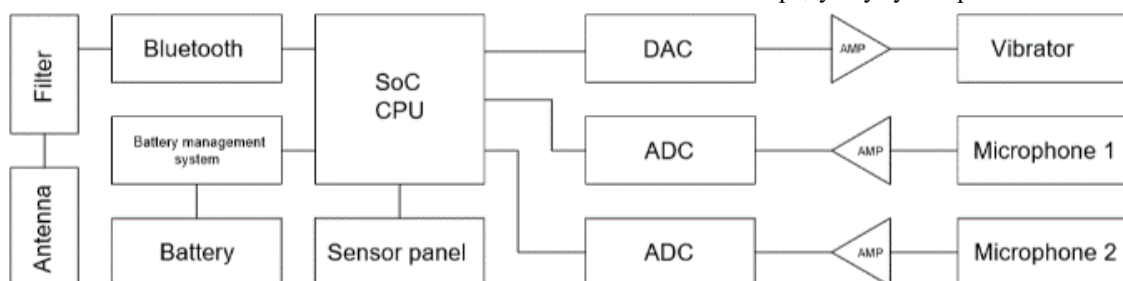
Основними складовими схеми є:

- 1) Два мікрофони для голосових команд та телефонних викликів, з яких один основний, а другий - для системи придушення шуму.
- 2) Кістковий вібратор, який забезпечує передачу звукових коливань через завушну кістку людини - мастоїд.
- 3) Сенсорна панель: інтегрована в дужку оправы і використовується для виконання команд.
- 4) ЦАП з буферним підсилювачем для керування кістковим вібратором.
- 5) АЦП з попередніми підсилювачами для обох мікрофонів.
- 6) CPU – процесор для обробки даних з підтримкою технології Bluetooth 5.0 BLE.
- 7) Батарея живлення та контролер заряду.
- 8) Антена для приймання сигналу.
- 9) Фільтр для антени.

Крім стандартних для таких пристроїв складових є блок вібратора для кісткового звукопроведення. Він дасть змогу краще чути в людських місцях, де звук зі звичайних динаміків можна просто не почути. Звук з динаміку - це акустичний сигнал, який може заглушити інший звуковий сигнал з більш гучного джерела.

Зв'язок зі смартфоном буде відбуватись із використанням технології Bluetooth, а саме Bluetooth Low Energy з метою економії енергії акумулятора. Перевага у використанні BLE 5.0 полягає у покращених характеристиках, зокрема, таких як дальність прийому сигналу, більша швидкість передачі та, що найважливіше, менше енергоспоживання у порівнянні з технологією попереднього покоління.

Наразі є неприпустимим ігнорувати можливості економії заряду акумулятора в носимій електроніці.





Google assistant – голосовий помічник від компанії Google, який допомагає користувачу знаходити інформацію на основі голосових команд.

Схема передбачає наявність двох мікрофонів для запису мови користувача. Один – основний, інший – додатковий для системи придушення шуму. Також структура передбачає використання окулярів як гарнітури – для прийняття та здійснення викликів.

Хоча в цій роботі представлено структуру технічного рішення, при його розробці слід пам'ятати про його повну конструкцію і загалом розуміти, які технічні складові мають бути в ній. Конструкція повинна бути естетично привабливою, оскільки окуляри в першу чергу – це аксесуар. Для цього необхідно використовувати компоненти, що розроблені для носимої електроніки. Такі компоненти мають зменшені розміри, що є головною вимогою до таких пристроїв та якщо говорити про виконавчу частину, мати специфічний набір периферії саме для цього портативного класу. Використовувати мікроконтролери та мікропроцесори загального призначення в даному випадку не представляється доцільним, оскільки вони не розраховані на використання в таких портативних додатках, не задовольняють вимогам щодо габаритних розмірів та мають багато зайвої периферії, яка буде лише споживати енергію.

Основна задача – обрати такий набір компонентів, який дозволить зменшити кількість складових готового друкованого вузла. Наприклад, більшість SoC для портативної електроніки вже мають в складі периферії АЦП, ЦАП, вільні порти вводу/виводу для підключення, а також можуть мати вбудований контролер заряду батареї. Останнє, наприклад, більш характерно для спеціалізованих чіпів. При використанні багатофункціонального процесорного вузла залишається встановити лише три підсилювачі, якщо виникне необхідність, а також під'єднати інші складові структурної схеми. Таким чином, при використанні спеціалізованих обчислювальних компонентів потенційно досягається скорочення ваго-габаритних розмірів із використанням однієї мікросхеми та, як наслідок, зменшується необхідна ємність батареї.

Компанії, які займаються виробництвом такої продукції, зазвичай самостійно розробляють обчислювач – процесор, який буде керувати окулярами та оброблювати необхідну інформацію. Використання SoC власної розробки для носимої електроніки позитивно впливає на енергоефективність портативного пристрою та його надійність внаслідок зменшення використання компонентів, а також скорочення ваго-габаритних розмірів. Зрештою, можна використати вже готові рішення. Вони також будуть мати все необхідне для інтеграції в технічне рішення такого типу, але їх проблема полягає в їх універсальності, що означає необхідність налаштування відповідно до вимог розробника.

Для використання в розробці пропонується SoC компанії Qualcomm [5], яка є лідером у створенні подібних рішень для мобільних

платформ та має великий вибір доступної продукції. В структуру може бути інтегровано сімейство QCC302x/QCC303x [6] або QCC5100 [7]. Серія QCC5100 є більш привабливою для використання, але вона розрахована на використання безпроводних навушників, оскільки підтримує стерео формат. В цьому випадку один канал не буде підключений, що не є коректним з точки зору використання наявних ресурсів.

На рис.5 показано підключення периферії до SoC QCC5124 – топового процесору серії QCC5100, який пропонує виробник у себе на сайті в якості прикладу реалізації гарнітури [8]. Замість кнопок в цьому рішенні пропонується використання сенсорної панелі.

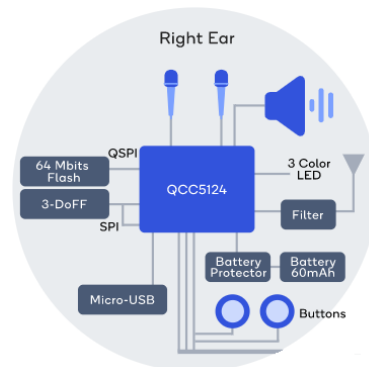


Рис.5 Приклад підключення периферії [8]

## ВИСНОВКИ

Розвиток носимої електроніки рухається у напрямку створення максимально зручних продуктів на кожен день. Запропонована в роботі структура передбачає реалізацію розумних окулярів, які будуть конструктивно наближені по формі до звичайних окулярів та матимуть лише найбільш затребувані користувачем базові функції. Це дозволить знизити вартість пристрою та зробить його доступним для значно більшого кола користувачів. Використання кісткової провідності звуків позитивно відобразиться на поліпшенні передачі інформації незалежно від місцезнаходження користувача. Крім цього, це також не буде впливати на комунікацію користувача з оточуючим середовищем, що підвищує безпеку. Простий та легкий спосіб керування з сенсорною панеллю якнайкраще підходить для такого типу аксесуарів, оскільки натискальні елементи типу кнопок будуть створювати зайве механічне навантаження на конструкцію та створювати незручність для користувача. Наявність голосового асистента дозволить швидко отримувати потрібну інформацію, не торкаючись смартфона.

В основу подальших досліджень у даному напрямку буде покладено розроблення алгоритмічних та програмних рішень реалізації обраного функціоналу розумного пристрою.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Google, "Google Glass," [Online]. Available: <https://www.google.com/glass/start/>. [Accessed 13 March 2020].

- [2] Huawei, "Huawei x Gentle Monster," [Online]. Available: <https://consumer.huawei.com/en/wearables/gentle-monster-eyewear/>. [Accessed 13 March 2020].
- [3] North, "Focals by North," [Online]. Available: <https://www.bynorth.com/focals>. [Accessed 13 March 2020].
- [4] D. Matthews, "North discontinues Focals smart glasses, focuses on Focals 2.0," Techspot, 10 December 2019. [Online]. Available: <https://www.techspot.com/news/83127-north-discontinues-focals-smart-glasses-focuses-focals-20.html>. [Accessed 13 March 2020].
- [5] Qualcomm, "Qualcomm," [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com>. [Accessed 13 March 2020].
- [6] Qualcomm, "Qualcomm QCC302x/QCC303x Series," 2019. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/qcc30xx-series-product-brief.pdf>. [Accessed 13 March 2020].
- [7] Qualcomm, "Qualcomm QCC5100 Series," 2019. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/qcc5100-series-product-brief.pdf>. [Accessed 13 March 2020].
- [8] Qualcomm, "Smart headset platform," [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/products/smart-headset-platform>. [Accessed 13 March 2019].

UDC 612.858.1

## Smart Glasses Based on Soc QCC5124

Maksymovych B., bachelor, 0000-0002-1880-1506

[bmaximovich@gmail.com](mailto:bmaximovich@gmail.com)

The Department of Design of Electronic Computing Equipment keoa.kpi.ua/

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Electronics kpi.ua/

Kyiv, Ukraine

**Abstract**— The article proposes a structure for building smart glasses based on a powerful SoC using the bone path for sound. Modern smart glasses are available to perform from certain professional jobs to the everyday. The model discussed in the article refers to casual glasses and assumes that the user needs a set of only the most common basic functions, which will help to achieve the perfect balance. The development was based on an analysis of the wearable electronics market and the study of popular features among users. The choice of a useful set of eyewear functions for everyday users of wearable electronics is justified, which will allow them to create a more compact design, and the transmission of sound through the bone - mastoid will provide increased safety of the user and improve auditory sensitivity. This will allow you to hear better in people's places where the sound from ordinary speakers is simply not heard. Speaker sound is an acoustic signal that can silence another sound from a louder source. The main task is to choose a set of components that will reduce the number of components of the finished board. Companies that manufacture such products usually develop their own calculator, a processor that will operate the glasses and process the necessary information. The use of SoC's own design for wearable electronics has a positive effect on the portable device's energy efficiency and reliability due to reduced component use and reduced overall dimensions. After all, you can use ready-made solutions. They will also have everything you need to integrate into a technical solution of this type, but their problem is their versatility, which means you need to customize to the developer's requirements. The structural scheme of application use SoC by Qualcomm company with a piece in devices of this type is presented. Qualcomm's SoC is available for development, leading the way in creating similar solutions for mobile platforms and with a large selection of affordable products. QCC302x / QCC303x or QCC5100 family may be integrated into the structure. The circuit, in addition to the processor, includes the use of the necessary external peripherals as amplifiers, 2 microphones, a touch control panel, antenna and antenna filter, a battery and a battery management system. The proposed structure provides for the implementation of smart glasses, which will be structurally close in shape to regular glasses and will have only the most required user basic features. This will reduce the cost of the device and make it accessible to a much larger number of users. The use of bone conduction sounds will positively improve information transfer regardless of the user's location. And having a voice assistant will allow you to quickly get the information you need without touching your smartphone.

**Keywords:** smart glasses; bone conduction; SoC; voice control; Bluetooth 5.0; BLE;